

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METROLOGIA CIENTÍFICA
E INDÚSTRIAL

AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DO
COEFICIENTE DE ATRITO EM PISOS CERÂMICOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM METROLOGIA

ENGº OSCAR KHOITI UENO

Florianópolis, Maio de 1999

Avaliação Metrológica de um Sistema de Medição do Coeficiente de Atrito em Pisos Cerâmicos

Eng. Oscar Khoiti Ueno

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de
“MESTRE EM METROLOGIA”
e aprovada na sua forma final pelo
Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial.



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.

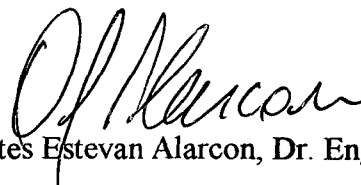
ORIENTADOR



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.

COORDENADOR DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

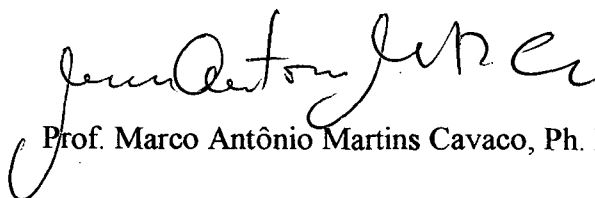
Banca Examinadora:



Prof. Orestes Estevan Alarcon, Dr. Eng.



Prof. Antônio Pedro Novaes de Oliveira, Dto Ing.



Prof. Marco Antônio Martins Cavaco, Ph. D

À minha esposa, Romi pela
paciência, motivação e apoio.

Agradecimentos

A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA por proporcionar uma gestão moderna e diretrizes temáticas de contribuição a sociedade brasileira;

Ao Departamento de Engenharia Mecânica pela oportunidade de possibilitar-me capacitação e atualização de reconhecidos conhecimentos;

Ao INMETRO e a CAPES pela apoio financeiro a realização deste Programa de Mestrado em Metrologia Científica e Industrial;

A FINEP, que através do projeto HABITARE, a qual enfocamos este trabalho no contexto: Normalização e Ensaio de Produtos Cerâmicos de Revestimento;

A FUNDAÇÃO CERTI pela utilização da infra-estrutura proporcionada a Pós graduação MCI;

A coordenação da Pós graduação em Metrologia Científica e Industrial, e aos Profs. por fazer reconhecer a aplicação desta ciência ao novo quadro de desafios em que o Brasil esta inserido;

A Coordenação da Pós graduação em Engenharia de Materiais pela orientação nos primeiros contatos quando apresentei-me a esta instituição;

A direção do Centro Tecnológico Cerâmico e da CECRISA/Portinari pela realização dos experimentos;

Ao Prof. Pedro Bernardini pelo apoio a realização deste curso;

Ao Prof. Orestes E. Alarcon pela proposição do trabalho, início da viabilização dos experimentos e co-orientação, bem como o apoio para divulgação de trabalhos correlatos;

Ao colaboração do Bolsista Daniel A. Camargo pela contribuição prestada aos experimentos;

Ao Prof. Armando Albetazzi Gonçalves Jr., pela atenção, paciência e orientação para este trabalho;

Aos colegas das Pós graduação em metrologia, pela oportunidade de integração.

Resumo

Um dos requisitos de conformidade mais importantes de pisos e pavimentos, sobretudo em ambientes públicos e industriais, é a sua segurança ao escorregamento, minimizando a possibilidade de queda de usuários. Após anos de pesquisas não se chegou a uma conclusão precisa sobre a relação entre a constituição da superfície e sua resistência ao escorregamento. É necessário que as comunidade científica, legal e burocrática convirjam a um acordo para estabelecer procedimentos universais e confiáveis para medir o coeficiente de atrito de pavimentos. Inúmeros instrumentos e técnicas foram inventados para medir a aderência ou a resistência ao escorregamento.

Dentre os vários sistemas existentes, destaca-se o sistema inglês denominado TORTUS, que foi desenhado para medir o coeficiente de atrito dinâmico segundo a norma ISO/DIS 10545-17, método A. Este sistema tem sido relativamente bem aceito para uma série de aplicações de interesse industrial.

Este trabalho apresenta resultados de uma análise efetuada sobre a óptica metrológica do sistema de medição TORTUS. Várias fontes de incerteza associadas ao procedimento de caracterização do coeficiente de atrito dinâmico com o sistema TORTUS, e ao próprio sistema de medição são analisadas e suas influências quantificadas através de experimentos controlados. Para a avaliação das incertezas foram utilizadas as recomendações do guia de expressão da incerteza de medição (ISO GUM) e os métodos estatísticos aí descritos. Os resultados obtidos demonstraram quais os aspectos mais críticos na medição a seco e na condição úmida, os níveis de incerteza normalmente atingidos e apresenta recomendações para otimizar o desempenho metrológico do sistema TORTUS para a caracterização do coeficiente de atrito dinâmico de pisos cerâmicos.

Abstract

One of the most important conformity requirements of floors and pavements in public and industrial environments, is the safety to the slippery, in order to minimize the risk of user's fall. In spite of this, after years of researches there is not precise conclusion about the relationship between the constitution of the surface and its resistance to the slippery. It is necessary that scientific, legal and industrial community come to an agreement to establish universal reliable and procedures to measure the friction coefficient of pavements.

Countless instruments and techniques have been invented to measure the adherence or the resistance to the slippery. Among the existent systems, stands out the English system denominated TORTUS, that measures the dynamic coefficient of friction according to the ISO/DIS 10545-17 standard, method A. This system has been relatively well accepted for different applications of industrial interest.

This work presents results of a metrological analysis on the TORTUS system. Several uncertainty sources associated to the measurement of the dynamic friction coefficient and to the own measurement system are analysed and their influences quantified through controlled experiments. For the evaluation of the uncertainties the recommendations in the ISO Guide to the Expression of Uncertainty Measurement were used (ISO GUM). The obtained results are used to identify the most relevant uncertainty contributions for measurement in humid and dry conditions. The level of uncertainty that can be expected in normal measurement situations is also reported. Some recommendations to optimize the metrological performance of the TORTUS system for the characterization of the dynamic friction coefficient of ceramic floors tiles are suggested.

Sumário

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.3. METAS.....	2
1.4. METODOLOGIA	2
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	2
2. CONCEITO DE ESCORREGAMENTO.....	4
2.1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA.....	4
2.2. BIOMECÂNICA INTERNA E EXTERNA	4
2.3. O FENÔMENO DE ESCORREGAMENTO	6
2.3.1. <i>Visão biomecânica da postura corporal</i>	6
2.3.2. <i>Aspectos de controle postural</i>	6
2.4. FATORES DE INFLUÊNCIA SOBRE O ESCORREGAMENTO.....	8
2.4.1. <i>Equilíbrio e estabilização do corpo humano</i>	8
2.4.2. <i>Formas de locomoção</i>	9
2.4.3. <i>Influência de contaminantes</i>	15
3. PISOS CERÂMICOS	20
3.1. APLICAÇÕES TÍPICAS.....	20
3.2. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS	20
4. CONCEITO DO COEFICIENTE DE ATRITO.....	23
4.1. PRINCÍPIO FÍSICO.....	23
4.2. COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO	24
4.3. COEFICIENTE DE ATRITO DINÂMICO.....	24
4.4. INTERAÇÕES SUPERFICIAIS.....	25

5. CARACTERIZAÇÃO DO ESCORREGAMENTO EM PISOS CERÂMICOS.....	27
5.1. MÉTODOS DINÂMICOS PARA A DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE ATRITO	27
5.1.1. Método A- Deslizador Dinâmico.....	27
5.1.2. Método C- Plataforma Inclinada	32
5.2. MÉTODO ESTATICO PARA A DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO	37
5.2.1. Método B- Deslizador Estático	37
5.3. PADRONIZAÇÃO E PROCEDIMENTOS NORMALIZADOS	41
5.4. ASPECTOS LEGAIS.....	44
6. SISTEMA TORTUS	48
6.1. ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	48
6.2. PROCEDIMENTO DE REGULAGEM.....	50
6.3. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO.....	52
6.4. DECOMPOSIÇÃO EM MÓDULOS	52
6.5. PADRÃO DE CALIBRAÇÃO	53
7. CONFIABILIDADE METRILÓGICA DO SISTEMA TORTUS.....	54
7.1. FONTES DE INCERTEZA	54
7.2. ESTIMATIVA DAS FONTES DE INCERTEZA	56
7.2.1. Medidor analógico da força de atrito	58
7.2.2. Sistema de aquisição de sinais.....	61
7.2.3. Regulagens iniciais	63
7.2.4. Estabilidade de longo prazo	64
7.2.5. Características da superfície de referência	66
7.2.6. Geometria do deslizador (GD).....	67
7.2.7. Material do deslizador	70
7.2.8. Procedimento de medição.....	71
7.2.9. Fatores ambientais	72
7.2.10. Características superficiais dos pisos	74
7.3. ESTIMATIVA DA INCERTEZA COMBINADA	74
7.3.1. Análise comparativa dos sistemas Tortus.....	79
7.4. ENSAIOS DE VERIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS DE PISOS COMERCIAIS	82
8. DISCUSSÕES E RECOMENDAÇÕES	88
8.1. COMPARAÇÃO RELATIVA ENTRE AS FONTES DE INCERTEZA.....	88
8.2. MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS DAS FONTES DE INCERTEZA	89
8.3. CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS DESLIZADORES DE BORRACHA	89
8.3.1. Tipo de borracha.....	90
8.3.2. Preparação da superfície	90
8.3.3. Considerações acerca do medidor de força de atrito.....	91
8.3.4. Considerações sobre o procedimento de regulagem.....	92

8.3.5. Considerações sobre o procedimento de medição	92
8.3.6. Considerações sobre as condições seca/molhada.....	92
8.4. ESTIMATIVA DA INCERTEZA DO TORTUS APÓS A OTIMIZAÇÃO	93
9. CONCLUSÕES.....	95
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXO A.....	103

Figuras

FIGURA 2.1 - COMPONENTE VERTICAL DA FORÇA DE REAÇÃO DO SOLO (FRS) DURANTE AS FASES DE APOIO: (1 E 2) DO ANDAR.	10
FIGURA 2.2 - DIAGRAMA VETORIAL DAS FORÇAS: FRICCIÓNAL (F_{μ}); NORMAL (F_N) VERSUS HORIZONTAL (F_H), VERTICAL (F_V), APLICADAS PELO PÉ NA FASE DO CONTATO DO CALCANHAR DURANTE AO ANDAR	12
FIGURA 2.3 - CURVAS DAS FORÇAS HORIZONTAL, VERTICAL E A RELAÇÃO H/V.....	12
FIGURA 2.4 - RAZÃO ENTRE AS COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA μ E A RELAÇÃO H/V.....	14
FIGURA 2.5 - CURVA TÍPICA DA FORÇA VERTICAL DE REAÇÃO DO SOLO DURANTE A CORRIDA.....	15
FIGURA 2.6 - CLASSIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ATRITO DINÂMICO E RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO DAS SUPERFÍCIES ENSAIADAS	16
FIGURA 2.7 - PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO DA CUNHA DE FILME LUBRIFICANTE SOBRE A SUPERFÍCIE DE CONTATO.	17
FIGURA 2.8 - FAIXA DE VARIAÇÃO E VALOR MÉDIO OBTIDO PARA COEFICIENTE DE ATRITO DOS DESVIOS E TIPOS DE PISOS CERÂMICOS TESTADOS NAS CONDIÇÕES SECA E MOLHADA.....	18
FIGURA 3.1 - TIPOS DE PERFIS ENCONTRADOS EM PEÇAS CERÂMICAS PARA PISOS ANTIDERRAPANTES.....	22
FIGURA 4.1 - COMPORTAMENTO DO COEFICIENTE DINÂMICO EM RELAÇÃO A VELOCIDADE	25
FIGURA 5.1 - MECANISMO DE MEDIÇÃO DE FORÇA	28
FIGURA 5.2 - SISTEMA DE CARGA VERTICAL SOBRE A SUPERFÍCIE	29
FIGURA 5.3 - MODELO DE DESLIZADOR DINÂMICO ITALIANO.....	29
FIGURA 5.4 - REGISTRADOR GRÁFICO.	30
FIGURA 5.5 - POSIÇÃO DO CHANFRO SOB O DESLIZADOR.....	30
FIGURA 5.6 ESQUEMA DA PLATAFORMA INCLINADA.....	33
FIGURA 5.7 - PLATAFORMA INCLINADA (MODELO COMERCIALIZADO).....	33
FIGURA 5.8 - SOLA PADRÃO PARA CALÇADO.....	34
FIGURA 5.9 - ESQUEMA DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO PELA NORMA ISO 10547-17	38
FIGURA 5.10 - MODELO COMERCIAL ITALIANO.	39
FIGURA 5.11 - TRÊS TIPOS BÁSICOS DE MEDIDORES DE ESCORREGAMENTO AMPLAMENTE UTILIZADOS NOS EUA.....	43
FIGURA 5.12 - PÊNDULO DE ATRITO RRL.....	44
FIGURA 5.13 - SISTEMA INTEGRADO DO DESLIZADOR DINÂMICO.....	44
FIGURA 5.14 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA O COEFICIENTE DE ATRITO	47
FIGURA 6.1 - ESQUEMA GERAL DO SISTEMA TIPO TORTUS.....	48
FIGURA 6.2 - DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO TIPO TORTUS: TRANSDUTOR DE FORÇA	49
FIGURA 6.3 - FORMATO DO DESLIZADOR DE BORRACHA	50
FIGURA 6.4 - REGULAGEM DO GANHO DO SISTEMA TORTUS.....	51

FIGURA 7.1 - DIAGRAMA DAS FONTES DE INCERTEZA CONSIDERADOS NA AVALIAÇÃO DE INCERTEZA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO TORTUS.....	55
FIGURA 7.2- CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL PARA APLICAÇÃO DAS MASSAS.	59
FIGURA 7.3 - CURVA DE CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FORÇA E A PLACA DE AQUISIÇÃO.....	63
FIGURA 7.4 - VARIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS EM FUNÇÃO DO TIPO DE DESLIZADOR E PERÍODO.....	65
FIGURA 7.5 - ESQUEMA DE ENSAIO EM POSIÇÕES DIFERENTES SOBRE O VIDRO.....	66
FIGURA 7.6 - VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO SOBRE A PLACA DE REFERÊNCIA EM CONDIÇÃO "A SECO".....	67
FIGURA 7.7 - COMPORTAMENTO DOS DESLIZADORES EM RELAÇÃO A FORMA E A PLANICIDADE.....	69
FIGURA 7.8 - RESULTADOS OBTIDOS PARA DIFERENTES DIREÇÕES DE LIXAMENTO DO DESLIZADOR.....	70
FIGURA 7.9 - VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO SOBRE A PLACA DE VIDRO NA CONDIÇÃO MOLHADA.....	73
FIGURA 7.10 - RESULTANTE DA CALIBRAÇÃO DO TORTUS A.....	75
FIGURA 7.11 - RESULTADO DA INCERTEZA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E O MENSURANDO VARIÁVEL (VIDRO).	79
FIGURA 7.12 - RESULTADO DA MEDIÇÃO DA SUPERFÍCIE DE VIDRO.....	79
FIGURA 7.13 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DAS CALIBRAÇÕES PARA OS DOIS SISTEMAS: TORTUS A E B.....	81
FIGURA 7.14 - CURVA RESULTANTE DA CALIBRAÇÃO DOS SISTEMAS A E B.....	81
FIGURA 7.15 - COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS OBTIDAS DOS PISOS CERÂMICOS.....	84
FIGURA 7.16 - VARIAÇÃO DO DESVIO PADRÃO EXPERIMENTAL NA CONDIÇÃO SECA (TORTUS B).....	85
FIGURA 7.17 - VARIAÇÃO DO DESVIO PADRÃO NA CONDIÇÃO MOLHADO PARA OS PISOS (TORTUS B).....	85
FIGURA 7.18 - VARIAÇÃO DO DESVIO PADRÃO PARA PISOS SELECIONADOS EM CONDIÇÃO MOLHADA.....	86
FIGURA 7.19 - RESULTADOS DO COEFICIENTE DE ATRITO EM PISOS CERÂMICOS.....	87
FIGURA 8.1 - PROPORÇÃO ENTRE AS FONTES DE INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO COM O SISTEMA TORTUS A SECO E EM SUPERFÍCIE LISA.....	88
FIGURA 8.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO COM O SISTEMA TORTUS PARA A CONDIÇÃO MOLHADA E EM SUPERFÍCIE LISA.....	89
FIGURA 8.3 - DISTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE INCERTEZA APÓS A OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA TORTUS NA CONDIÇÃO A SECO E SOBRE UMA SUPERFÍCIE LISA.....	93
FIGURA 8.4 - DISTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE INCERTEZA APÓS A OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA TORTUS NA CONDIÇÃO MOLHADA SOBRE UMA SUPERFÍCIE LISA.....	94

Tabelas

TABELA 5.1 - CLASSIFICAÇÃO ADOTADA DE ACORDO COM A NORMA ISO 10545-17.....	31
TABELA 5.2 - ÂNGULO DE ACEITAÇÃO PADRONIZADAS E VALORES CRÍTICOS DE DIFERENÇA.....	34
TABELA 5.3 - VALORES DE CORREÇÃO DEPENDEM DA PESSOA E DA MEDIDA DOS ÂNGULOS TESTADOS	35
TABELA 5.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS ÂNGULOS DE ACEITAÇÃO MÉDIOS EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES ANTIDERRAPANTES (DIN 51130).	36
TABELA 5.5 - CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE VOLUME DE DESLOCAMENTO (DIN 51 130).....	36
TABELA 5.6 - REQUISITOS MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO E VOLUME DE DESLOCAMENTO PARA AMBIENTES DE TRABALHO EM INDÚSTRIA ALIMENTÍCIAS (NORMA ZH 1/157).....	37
TABELA 7.1 - CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR ANALÓGICO DA FORÇA DE ATRITO (DADOS BRUTOS).....	59
TABELA 7.2 - CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR ANALÓGICO DA FORÇA DE ATRITO; CORREÇÃO E DESVIO PADRÃO EXPRESSOS EM VALORES DO COEFICIENTE DE ATRITO (ADIMENSIONAL).....	60
TABELA 7.3 - RESULTADOS DO CÁLCULO DE INCERTEZA EXPANDIDA PARA O SISTEMA ANALÓGICO DE MEDIÇÃO DE FORÇA.....	60
TABELA 7.4 - NÍVEIS DE SINAIS GERADOS PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS NOS RESULTADOS EM TERMOS DO COEFICIENTE DE ATRITO.	61
TABELA 7.5 - RESULTADO DA CORREÇÃO E DESVIO PADRÃO	62
TABELA 7.6 - RESULTADOS DA CORREÇÃO E A INCERTEZA EXPANDIDA POR NÍVEL	62
TABELA 7.7 - RESULTADO DOS DESLIZADORES SOBRE A SUPERFÍCIE DE VIDRO PADRÃO.....	65
TABELA 7.8 - RESULTADOS DE ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE POSICIONAMENTO SOBRE O VIDRO EM CONDIÇÃO SECA	66
TABELA 7.9 - RESULTADOS OBTIDOS DOS ENSAIOS COM DIFERENTES TIPOS DE DESLIZADORES.....	68
TABELA 7.10 - RESULTADOS OBTIDOS DA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DO DESLIZADOR.	70
TABELA 7.11 - RESULTADOS DE ENSAIOS REALIZADOS NA CONDIÇÃO MOLHADA EM DIFERENTES POSIÇÕES SOBRE A PLACA DE VIDRO.	73
TABELA 7.12 - RESULTADO DA COMBINAÇÃO PARA TORTUS A.....	75
TABELA 7.13 - RESULTADOS DAS INCERTEZAS PADRÃO PARA AS FONTES DE INCERTEZA TIPO A.....	76
TABELA 7.14 - BALANÇO DE INCERTEZA TÍPICA DO SISTEMA TORTUS NA CONDIÇÃO A SECO EM SUPERFÍCIE LISA (VIDRO TEMPERADO).....	76
TABELA 7.15 - BALANÇO DE INCERTEZAS TÍPICO PARA O SISTEMA DE MEDIÇÃO TORTUS NA CONDIÇÃO MOLHADA EM SUPERFÍCIE LISA (VIDRO TEMPERADO).....	77
TABELA 7.16 - BALANÇO DE INCERTEZA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO NA CONDIÇÃO SECA.....	77
TABELA 7.17 - RESULTADO DA MEDIÇÃO SOBRE O VIDRO.....	78

TABELA 7.18 - RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO PARA TORTUS B, ESCALA 0~1.	80
TABELA 7.19 - RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO PARA TORTUS B, ESCALA 0~3.	80
TABELA 7.20 - PISOS COMERCIAIS SELECIONADOS PARA ENSAIO.....	83
TABELA 7.21 - RESULTADOS COMPARATIVOS DAS MÉDIAS A SECO E MOLHADO PARA DOIS SISTEMAS.....	83
TABELA 7.22 - RESULTADO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA CONDIÇÃO A SECO. (TORTUS B)	84
TABELA 7.23 - RESULTADO DA MÉDIA E DESVIO O PADRÃO PARA CONDIÇÃO MOLHADA (TORTUS B).....	84

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Um dos requisitos de conformidade de pisos cerâmicos, sobretudo em ambientes públicos e industriais, é sua segurança ao escorregamento, evitando acidentes com seus usuários. No entanto a comunidade científica ainda não chegou a uma conclusão definitiva sobre a relação entre as propriedades da superfície e sua resistência ao escorregamento

Muitos países têm adotado critérios e valores mínimos diferentes para caracterizar a resistência ao escorregamento, inclusive motivados por apelação civil e legal. Frequentemente, baseiam-se em instrumentos e procedimentos diferentes, ocorrendo divergências quanto à aceitação de métodos e procedimentos universais.

No Brasil, para caracterizar a resistência ao escorregamento de superfícies de pisos cerâmicos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda o método de determinação do coeficiente de atrito dinâmico através do sistema Tortus.

Entretanto, apesar de existir uma norma que estabeleça claramente os procedimentos para utilização do sistema Tortus, há uma grande quantidade de fatores que afetam de forma considerável o valor indicado por este sistema. Nas situações encontradas na indústria não se tem verificado uma constante preocupação com estes fatores e nem com a maximização da confiabilidade metrológica deste sistema.

1.2. Objetivos

Avaliar, sob o enfoque metrológico, o desempenho do sistema Tortus, utilizando o procedimento de caracterização ao escorregamento em pisos cerâmicos previsto na norma ABNT 13818, e estabelecer recomendações para maximizar seu desempenho no uso em testes de superfícies cerâmicas.

1.3. Metas

- Caracterizar a suscetibilidade do sistema Tortus em relação aos vários fatores que influenciam seu desempenho;
- Caracterizar o desempenho metrológico do Tortus em condições típicas de utilização;
- Estabelecer recomendações de utilização que maximizem a confiabilidade metrológica do sistema Tortus.

1.4. Metodologia

Primeiramente realizou-se o levantamento e estudo dos diversos sistemas utilizados para caracterizar a resistência ao escorregamento, bem como os fatores que a influenciam. Utilizou-se da norma ISO 10545 e ABNT 13818 que definem métodos a serem adotados, e aprofundou-se o estudo do sistema Tortus para a determinação do coeficiente de atrito.

Para uma melhor análise do sistema, realizou-se calibrações do medidor da força de atrito que faz parte do equipamento Tortus e do sistema de aquisição de sinais e cálculo do coeficiente de atrito. Por meio de sugestões do fabricante e análise do procedimento de uso do equipamento, definiu-se possíveis fontes geradoras de incertezas e erros na medição.

Planejou-se experimentos controlados para a coleta de dados e estimou-se quantitativamente a influência de cada fonte de incertezas, considerada no processo de medição em uma superfície de referência. Para efeito comparativo realizou-se também uma calibração e avaliação em um segundo sistema. Experimentos nas condições seca e molhada em pisos cerâmicos também foram realizadas. Finalmente, com base nestes resultados foram estabelecidas recomendações para maximizar o desempenho metrológico do sistema Tortus

Utilizou-se para a análise dos resultados, procedimentos estatísticos previstos na norma ISO GUM, e indicou-se de acordo com as condições de ensaio algumas fontes críticas.

1.5. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em nove capítulos, distribuídos da seguinte forma:

No capítulo 2 faz-se uma abordagem do conceito de escorregamento sob a ótica da biomecânica, relacionando os -mecanismos internos e externos do corpo humano e o movimento. Tratam-se aspectos de controle postural, influências ao escorregamento como

equilíbrio e estabilização do corpo humano, formas de locomoção e o efeito de contaminantes entre o calçado e a superfícies de contato.

No capítulo 3 abordam-se aplicações típicas de pisos cerâmicos e características superficiais de pisos antiderrapante.

No capítulo 4 apresentam-se definições do coeficiente de atrito estático e dinâmico

No capítulo 5 abordam-se os métodos reconhecidos pela norma ISO 13006 e 10545 para a caracterização do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos e suas características operacionais. Algumas considerações e aspectos legais de países da Europa e Estados Unidos.

No capítulo 6 trata-se especificadamente do método "A", previsto pela norma ISO e o sistema reconhecido pela ABNT no Brasil. São também analisados aspectos construtivos e procedimentos de medição do coeficiente de atrito.

No capítulo 7 descrevem-se as principais fontes de erros, os procedimentos de ensaio e avaliação das influências das fontes de erro na medição do coeficiente de atrito, bem como a calibração do sistema integrado ao computador.

No capítulo 8 sugere-se recomendações e procedimentos para maximizar o desempenho metrológico do sistema Tortus.

Finalmente, no capítulo 9 apresentam-se as conclusões deste trabalho.

2. CONCEITO DE ESCORREGAMENTO

O escorregamento pode ser definido como sendo um decréscimo intenso no valor do coeficiente de atrito entre o corpo em movimento e a superfície de apoio, ocorrido de maneira brusca.

O ato de escorregar pode ser definido como sendo uma perda de equilíbrio causada por um movimento inesperado, imprevisto e fora de controle, do pé, sendo usualmente produto final de um coeficiente de atrito insuficiente. No entanto para um melhor entendimento do fenômeno escorregamento são necessários conceitos de biomecânica, observações sobre a maneira de andar dos indivíduos, bem como conhecimentos sobre o coeficiente de atrito[1].

2.1. Introdução à Biomecânica

A biomecânica é uma das área do conhecimento derivada das ciências naturais que se ocupa com análises físicas de sistemas biológicos, consequentemente análises físicas de movimentos do corpo humano. Estes movimentos são estudados através de leis e padrões mecânicos em função das características específicas do sistema fisiológico humano, incluindo conhecimentos anatômicos e fisiológicos, características estas de natureza amplamente dinâmica.

O corpo humano, portanto, pode ser definido fisicamente como um complexo sistema de segmentos articulados em equilíbrio estático ou dinâmico, onde o movimento é causado por forças internas, atuando fora do eixo articular, que provocam deslocamentos angulares dos segmentos, e por forças externas ao corpo.

2.2. Biomecânica interna e externa.

A biomecânica possibilita conhecimentos científicos e desenvolvimento de métodos para estudo de fenômenos naturais, indispensáveis para a compreensão dos parâmetros que compõem o universo do movimento. De acordo com pesquisadores [2] a [6], é a biomecânica, de forma esquemática, classificada em biomecânica interna e externa

"Biomecânica interna - Preocupa-se com a caracterização das forças internas (forças articulares e musculares) e os consequentes resultados dessas forças (tensões) do biomaterial frente às diferentes formas de solicitação mecânica (pressão, tração, flexão, torção; etc.). As grandezas envolvidas não são observáveis, assim como dificilmente serão passíveis de serem medidas diretamente, mas podem ser calculadas por intermédio de parâmetros da cinemática e da dinâmica do movimento que são registradas de forma sincronizado, bem como das características físicas (mecânicas) do aparelho locomotor e de suas estruturas funcionais;

Biomecânica externa - Representa aqueles parâmetros de determinação quantitativa e ou qualitativa referente às mudanças de lugar e posição humana em movimentos esportivos, com auxílio de medidas descritivas cinemáticas e dinâmicas (por ex. trajetória, velocidade, aceleração, força, etc.); ou seja, referem-se às características observáveis exteriormente na estrutura do movimento".

O estudo sobre o funcionamento físico de estruturas biológicas tem-se baseado principalmente em medidas experimentais.

A biomecânica, para a descrição do movimento humano, baseia-se na mecânica clássica. Ao estudar características do movimento como posição, velocidade e aceleração durante um salto a distância, sem considerar as forças que geraram o movimento, estão sendo aplicados os conceitos da cinemática, uma área da mecânica. Por outro lado, ao investigar as forças que geram o movimento, como durante o andar de um indivíduo, estarão sendo aplicados os conceitos da cinética, outra área da mecânica.

O movimento humano, quanto às características cinemáticas e cinéticas, é muito complexo. Em um grau de complexidade cada vez maior, a mecânica foi sendo construída para descrever sistemas de partículas, sistemas de corpos rígidos e sistemas de corpos deformáveis, sendo cada abordagem empregada conforme objetivos específicos de análise. Na biomecânica o objeto de estudo em movimento, o corpo humano, pode ser modelado como segmentos rígidos que são ligados por articulações, o que implicaria no equacionamento do movimento de todos os segmentos, de um até vários segmentos, de acordo com a estrutura do movimento estudado. Outras complicações surgem devido a estes segmentos não se articularem em torno de um

ponto fixo mas sim de um centróide ou de segmentos não serem exatamente corpos rígidos. O fato de não se conhecerem sempre todas as forças envolvidas no movimento, como as forças internas no corpo humano, é outro fator que contribui para tornar a análise do movimento humano um problema complexo de mecânica.

2.3. O Fenômeno de escorregamento

2.3.1. Visão biomecânica da postura corporal

Define-se postura corporal como a posição e a orientação espacial global do corpo e seus membros relativamente uns aos outros [7]. A Postura tem sido freqüentemente caracterizada como uma atitude basicamente ereta, estabilizada ativamente por servomecanismos que restabelecem automaticamente a orientação do corpo quando há perturbações. O movimento é caracterizado como um gerador de ações que desloca os segmentos corporais uns em relação aos outros ou o corpo todo em relação ao espaço. No entanto, o conceito de postura não está em oposição ao conceito de movimento. Movimentos surgem a partir da desestabilização tanto da posição dos segmentos corporais quanto do equilíbrio quase estático global do corpo, sendo assim uma dada postura é sempre necessária para a execução bem sucedida de um determinado movimento. Portanto, postura não é um conceito estático, pois há ajustes posturais intermitentes devidos aos momentos gerados por oscilações do centro de gravidade.

2.3.2. Aspectos de controle postural

O controle do equilíbrio dentro do campo gravitacional requer um monitoramento contínuo da posição corporal. Sensores somáticos captam, movimentos angulares relativos do segmentos corporais e da relação cabeça-tronco, além dos sistemas vestibular e visual informarem sobre a posição e o movimento da cabeça em relação ao ambiente externo. Estes sistemas avaliam continuamente as oscilações da linha de gravidade e desencadeiam atividade muscular que resulta em ajustes posturais. A manutenção de uma postura é pré-requisito para a execução de qualquer movimento. A musculatura do tronco, por exemplo, diante de um movimento esportivo, é ativada antes dos grupos musculares principalmente responsáveis pelo

movimento, a fim de fornecer um aparelho de sustentação que prepare a execução. Assim, ajustes posturais precedem e também acompanham a execução de movimentos voluntários.

Os movimentos cotidianos, as curvaturas fisiológicas da coluna são achatadas ou acentuadas e, em função disto ocorrem mudanças na posição do centro de gravidade, fato que requer maior ou menor ativação de grupos musculares para o restabelecimento do equilíbrio.

A postura do pé, em geral, requer uma pequena atividade muscular, porém esta vai além de simples reflexos postutrais da musculatura antigravitacional, principalmente ao nível dos extensores dorsais, ou seja, a medida que se realiza uma inclinação do tronco para frente há um aumento da atividade da musculatura dorsal, até que seja atingida uma flexão máxima do quadril, onde deixa de existir atividade elétrica dos músculos dorsais e as estruturas ligamentares sustentam o peso do tronco.

Ajustes posturais são necessários em todas as tarefas motoras e precisam ser integradas com movimentos voluntários. Estes ajustes, [7] prestam-se a três funções comportamentais:

- Sustentar a cabeça e o corpo contra a ação da gravidade e outras forças externas;
- Manter o centro de gravidade do corpo alinhado e equilibrado;
- Estabilizar partes do corpo enquanto outras estão se movendo.

A estabilidade da postura de pé e durante a realização de um movimento é mantida fundamentalmente por dois mecanismos que, podem ser assim caracterizados [7] :

•Mecanismo antecipatório, que gera ajustes posturais antes de ocorrer um distúrbio no movimento. Suas respostas podem ser aprimoradas com a prática;

•Mecanismos compensatório, gerado por efeitos sensoriais que se seguem à perda de estabilidade. Estes resultam em respostas rápidas e com organizações espaço-temporais relativamente estereotipadas.

Durante o desenvolvimento do sistema postural, ocorre uma interação cada vez maior de informações de diferentes modalidades sensoriais para a formação de estratégias de estabilização postural e que permitem adaptações a diferentes condições ambientais. Dependendo do estado maturacional e da experiência, a importância de cada sistema receptor no ajuste postural é diferente.

O controle postural pode ser caracterizado pelo emprego flexível de todas as fontes sensoriais que atingem o corpo e pelo aumento de sua especificação organizacional, a fim de

corresponder a demandas de diferentes tarefas e não apenas uma atividade muscular reflexiva e automática.

2.4. Fatores de influência sobre o escorregamento

2.4.1. Equilíbrio e estabilização do corpo humano

Todo movimento ou posição adotado pelo corpo contém aspectos de equilíbrio e estabilidade e, para a análise destas situações é importante que se defina a condição de equilíbrio e se conheça o grau de estabilidade.

Assim, como nos demais corpos estudados pela física, as leis da mecânica são aplicadas ao corpo humano, e este encontra-se em equilíbrio quando a soma de todos os vetores, forças que atuam externamente sobre ele for igual a zero. E, quando isso ocorre, o corpo encontra-se em condição de repouso ou de movimento uniforme. Desse modo, ao conservar sua velocidade de translação ou de rotação, o corpo encontra-se em equilíbrio dinâmico, enquanto que um equilíbrio estático caracteriza o estado de repouso de um corpo.

Então, um corpo sobre uma base de sustentação grande, é o espaço ideal para as diferentes posições do centro de gravidade, ocorrendo assim a condição de equilíbrio estável. Sucede-se o contrário quando a base de sustentação é pequena, resultando para o corpo uma condição de equilíbrio instável.

No entanto, para o corpo humano, apesar da sua base de sustentação ser pequena, esta relação de manutenção da condição de equilíbrio difere dos corpos rígidos por serem um sistema de articulação que possuem a capacidade de reagir contra um distúrbio de seu estado de equilíbrio, a fim de manter seu estado inicial. Tal função é atingida através de movimentos compensatórios, alterando as posições relativas de seus segmentos corporais e tensões musculares.

Portanto, para a manutenção de equilíbrio, em diversas situações de movimento, o corpo adota aspectos condicionais de estabilidade, que se diferenciam em função de graus de estabilidade (GE), dependendo dos seguintes fatores:

- Base de apoio : o grau de estabilidade é proporcional à base de apoio;
- Altura do centro de gravidade (CG): o GE é inversamente proporcional a altura do CG;

- Distância horizontal do CG à extremidade da base de sustentação: o GE em um determinado sentido é diretamente proporcional a distância horizontal do CG à extremidade da base de sustentação;

- Peso corporal: o GE é diretamente proporcional ao peso corporal.

Assim sendo, quando o indivíduo ao se posicionar de pé e tentar romper o seu estado de equilíbrio estático e entrar em movimento, imediatamente deslocará o seu centro de gravidade, forçando o peso sobre a base de sustentação, produzindo um momento de rotação com o eixo, no contato do pé com o solo. À medida que aumentar o ângulo, formado pelo corpo com a vertical, a linha de gravidade desloca-se até que projete-se fora da base de sustentação, isso acontecerá quando ocorrer uma queda do corpo ou este entrar em movimento.

2.4.2. Formas de locomoção

O andar, o correr, e o saltar envolvem distintos padrões de movimentos baseados fundamentalmente na formação e evolução de estereótipos dinâmicos, cuja origem é estabelecida por complexas estruturas neurológicas sincronizadas com as demais funções do aparelho locomotor humano. No escopo deste trabalho serão abordados apenas os movimentos mais comuns: de andar e correr.

Dentre as habilidades fundamentais do corpo humano, o andar tem uma posição de destaque. Através da análise do comportamento dinâmico do andar, pode-se obter importantes informações acerca desta habilidade.

Assim, todos os movimentos que envolvem uma fase de contato, o andar pode ser estudado quanto à *força de reação do solo* (FRS), em três componentes: uma vertical e duas horizontais. Dentre essas três componentes, a vertical se destaca dada sua magnitude, figurando como uma das principais influências da sobrecarga do aparelho locomotor [8] como mostra a Figura 2.1, onde $F_{\text{máx}}$ indica a força vertical máxima e $F_{\text{mín}}$ a força vertical mínima. O T1-T3, indica o tempo do apoio (1), T2-T4 indica o tempo e o segundo apoio; e o tempo entre T2-T3, a fase de duplo apoio.

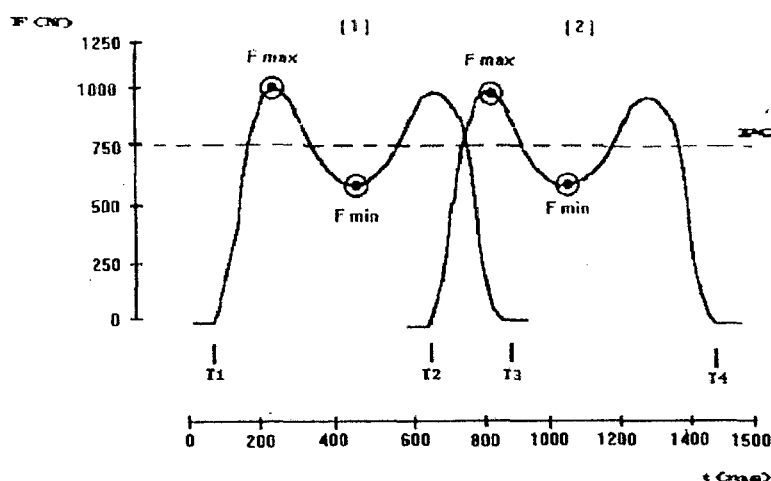


Figura 2.1 - Componente vertical da força de reação do solo (FRS) durante as fases de apoio: (1 e 2) do andar.

Observando o comportamento da força vertical pode-se perceber a formação de dois picos de força bem definidos, cuja força vertical máxima gerada é da ordem de 1,5 vezes o peso corporal do indivíduo.

O primeiro pico da força vertical tem sua origem a partir do primeiro contato com o solo, geralmente realizado com o calcanhar. Enquanto o segundo pico corresponde à fase ativa do movimento, quando a parte anterior de um dos pés está em contato com o solo. Nesta fase ocorrerá, por ação da musculatura extensora dos membros inferiores, a propulsão para o início do movimento.

Entre o primeiro e o segundo pico da força vertical observa-se uma evidente redução da força. Esta deflexão da força vertical, corresponde a fase de balanço da perna livre, que ocorre quando uma destas, encontra-se em fase aérea, num movimento de recuperação para a próxima passada, enquanto a outra, a perna de apoio, ainda encontra-se em contato com o solo.

Uma das características marcantes do andar, que permite distingui-lo das outras formas de locomoção, é o duplo apoio. Caracterizado pela fase em que os dois pés se encontram em contato com o solo, um no início do contato com o calcanhar e o outro no final. Assim, com o tempo de apoio simples (aproximadamente 600 ms.), o tempo de duplo apoio (aproximadamente 120 ms.) apresenta valores reduzidos, como é característica do movimento humano.

Para análise do andar [9]; [11], é considerado que a continuidade do movimento deve-se ao flexionamento do músculo da planta do pé, associado à ação do joelho que, uma vez

flexionado, causará um deslocamento da posição relativa do quadril. Este deslocamento do quadril leva a um deslocamento do calcanhar do outro pé até uma posição à frente do corpo que, associado a um "empurrão" executado pelo dedão do pé que ficou atrás, permite o movimento do corpo para frente, uma vez que esta tendência é contraposta pelo atrito, surgindo entre a sola do pé e a superfície em que está em contato.

Observações realizadas[9]; [10], mostram a existência de duas forças diretamente envolvidas no movimento entre os pés e a superfície. Uma delas foi chamada de força vertical, e vem a ser a que surge transversalmente ao ângulo reto formado pelos pés com a perna. A segunda força é chamada de horizontal, e ocorre paralelamente ao movimento descrito pelos pés sobre a superfície.

As considerações para a determinação do nível de segurança de um indivíduo sobre uma superfície depende de fatores como: a maneira de andar, o comprimento do passo e a habilidade de ajustar o equilíbrio sobre uma superfície.[10] Embora estes fatores sejam incomensuráveis, a sua importância é bastante conhecida, uma vez que caso uma determinada superfície apresente risco de escorregamento, automaticamente a pessoa altera seu modo de andar.

Desta forma o ângulo de contato do calcanhar com a superfície é modificado, para que se dê o mais paralelo possível o comprimento do passo; tornando-o mais reduzido, além de diminuir a velocidade de deslocamento como mostra a Figura 2.2. Estas atitudes minimizam a necessidade de elevado coeficiente de atrito, ou seja com a redução do ângulo θ , causa teoricamente, uma redução do coeficiente de atrito ($\mu = \tan \theta$).

Ao demonstrar a ocorrência destas forças, bem como avaliar a razão entre elas, como mostra a Figura 2.3, define-se dois movimentos críticos durante o movimento do ponto de vista do escorregamento:[10]

1. - Logo após o contato do calcanhar com a superfície, quando há apenas uma pequena porção do calcanhar em contato com o piso - (pontos 3 e 4 da Figura 2.3). Os pontos 1 e 2 não são considerados como sendo de risco, no caso do ponto 1 devido a força F_v ser bastante pequena neste momento, e no caso do ponto 2, em função a força F_H ser dirigida para trás.

2. - No momento em que o contato com a superfície dá-se apenas através do "dedão", como pode ser observado nos pontos 5 e 6 da Figura 2.3.

$2l \sin \theta = \text{Comprimento do passo}$

$l = \text{Comprimento da perna}$

$\theta = \text{Angulo da perna}$

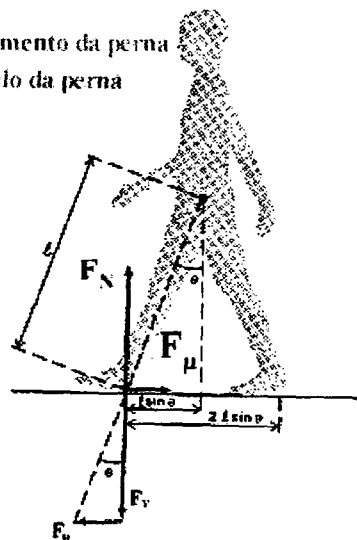


Figura 2.2- Diagrama vetorial das força: Friccional (F_{μ}); normal (F_n) versus Horizontal (F_h), Vertical (F_v), aplicadas pelo pé na fase do contato do calcanhar durante ao andar

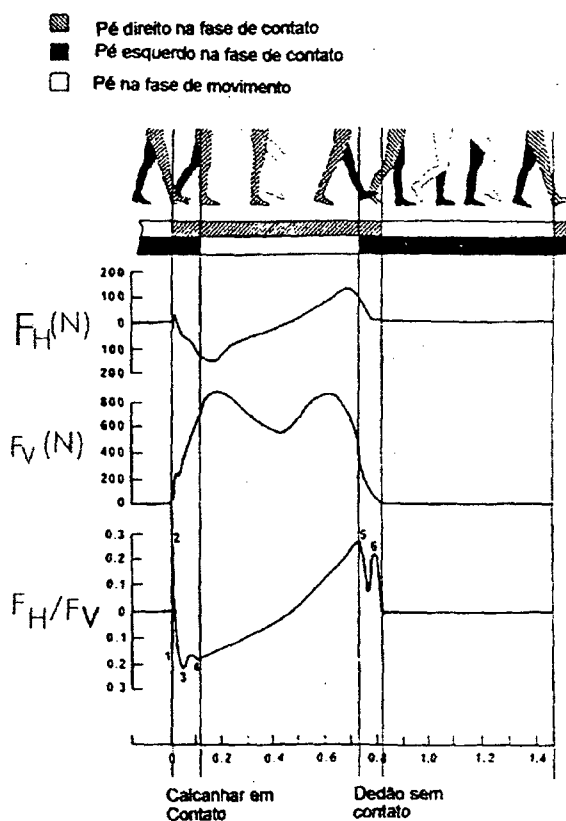


Figura 2.3- Curvas das forças horizontal, vertical e a relação H/V.

Desta análise devem ser considerados quando avaliar a segurança de uma superfície como:

- A razão entre os coeficientes de atrito medidos para o caso de escorregamento do calcanhar e da sola do pé μ_{k1} e μ_{k2} respectivamente. Neste caso considera-se a influência de diferentes combinações entre tipos de superfícies, calçados e lubrificantes, na determinação do coeficiente de atrito.

- O gradiente do coeficiente de atrito dinâmico medido como função do ângulo de contato do pé com a superfície. Este critério descreve a sensibilidade na variação do coeficiente de atrito durante a fase mais crítica do movimento, onde apenas o calcanhar está em contato com a superfície.

- O gradiente do coeficiente de atrito medido como função da velocidade do escorregamento. Neste critério são considerados como a escolha de diferentes combinações de tipos de calçados, superfícies e lubrificantes que influem na aceleração ou retardamento na velocidade de escorregamento do pé.

- Variáveis estatísticas envolvidas nos ensaios, tais como: média, desvio, padrão e coeficiente de variação obtida para as diferentes medições executadas com as diversas combinações de superfícies, calçados e lubrificantes. Estes parâmetros descrevem a variabilidade do coeficiente medido sob diversas condições de uso e determinam o seu grau de variabilidade. Deve-se ter em mente que mudanças rápidas nas propriedades de atrito são consideradas perigosas do ponto de vista do escorregamento. Desta forma deve-se procurar coeficiente de baixa variabilidade.

Alguns estudos da natureza das forças aplicadas pelos pés sobre a superfície de contato durante o ato de andar, chamada de força vertical (F_v), Força Horizontal e força horizontal/Vertical(F_t).[13]; [18]

Pesquisadores [12]; [13], definem que a razão entre as forças horizontal e vertical (H/V), que atuam sobre o piso determinam o comportamento ao escorregamento, como mostra a Figura 2.4.

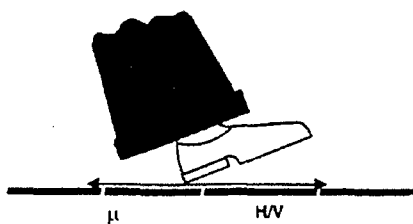


Figura 2.4- Razão entre as coeficiente de resistência μ e a relação H/V

O equilíbrio entre a razão H/V e o coeficiente de resistência ao movimento μ irá determinar o comportamento do indivíduo sobre a superfície. Desta forma, observa-se uma aceleração dos pés caso a razão H/V seja maior que μ ; ao contrário, têm-se uma desaceleração caso esta razão seja menor que o valor de μ , e nota-se um escorregamento a velocidade constante caso os valores de H/V e μ sejam iguais.

O primeiro momento crítico é o mais perigoso do que o segundo, isto em função de que naquele momento há uma mudança na posição relativa do centro de gravidade, que leva todo o peso do corpo à concentrar-se em apenas um dos pés, justamente aquele que está sujeito a sofrer escorregamento. No segundo momento, o escorregamento também pode ocorrer, embora neste caso o peso do corpo esteja concentrado não apenas no pé sujeito a escorregamento, mas está sendo transferido para aquele que está à frente (duplo-apoio).[18]

O correr pode ser considerado como uma variação do andar. Dentre as diferenças básicas entre as duas habilidades destacam-se a velocidade, significativamente maior no correr, e a fase de duplo apoio que só ocorre durante o andar. A importância do correr é significativa, uma vez que esta habilidade está presente em quase todas as manifestações do movimento humano, especialmente nos esportes. A velocidade, característica da corrida condiciona uma resposta de força bastante diferenciada quando comparada ao andar.

A magnitude da força vertical pode atingir de duas a quatro vezes o peso corporal do corredor, para corridas recreativas (*jogging*) e de velocidade respectivamente.[14] Além do aumento na magnitude da força, observa-se diminuição do tempo de apoio, como mostra a Figura 2.5. Desta forma, a carga mecânica a que está exposto o aparelho locomotor durante a corrida é maior que a gerada no andar.

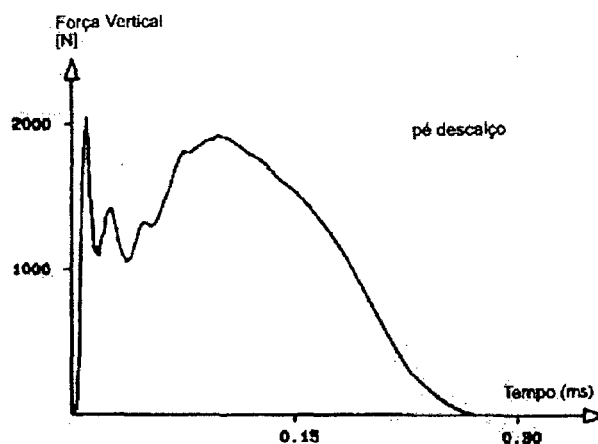


Figura 2.5- Curva típica da força vertical de reação do solo durante a corrida

Para pessoas saudáveis, em virtude da eficiência de suas estruturas ósteo-mio-articulares, podem suportar seguramente a carga imposta; que pode ser excessiva para indivíduos sedentários, idosos ou portadores de doenças musculares degenerativas, entre outras, que podem afetar no comportamento ao escorregamento.

2.4.3. Influência de contaminantes

Além dos fatores intrínsecos, abordados anteriormente, associados ao movimento humano, existem ainda outros fatores associados ao meio ambiente e às condições das superfícies de contato, que influenciam consideravelmente sobre o escorregamento, como: tipo de superfície, dureza, microestrutura (porosidade), rugosidade, resistência, temperatura e umidade, carga aplicada pelo pé, velocidade relativa e a presença de contaminantes na superfície, como viscosidade dos líquidos, e tensão superficial.[13]

A influência dos contaminantes é um fator importante para a modificação deste comportamento ao escorregamento, desde a postura ao caminhar até a redução do coeficiente de atrito da superfície em presença de água, gelo, graxas ou óleos, onde pisos que possuíam propriedades satisfatórias, tornam-se inseguros e perigosos para os usuários.

Considerando-se de fato que as situações mais perigosas do ponto de vista do escorregamento ocorrem em presença de materiais contaminantes dos quais reduzem as propriedades de resistência ao escorregamento. Ensaios foram realizados utilizando como contaminante o Glicerol de viscosidade 200 cp com 89% em massa, simulando a contaminação

da água marinha [15]. Os ensaios foram realizados em treze diferentes superfícies utilizadas em embarcações e com três diferentes tipos de calçados convenientemente gastos antes dos ensaios de modo a simular calçados utilizados. A Figura 2.6, mostra os resultados dos ensaios, classificando os pisos de acordo com os coeficiente de atrito dinâmico obtidos.

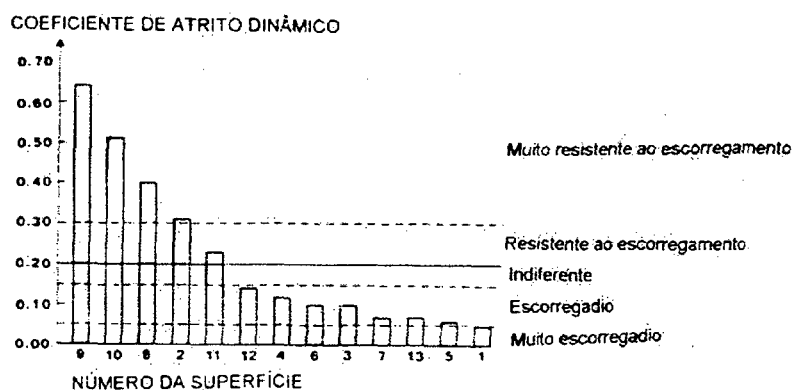


Figura 2.6- Classificação dos coeficientes de atrito dinâmico e resistência ao escorregamento das superfícies ensaiadas

Os solados novos são de um modo geral mais escorregadios do que aqueles já utilizados [15]. O que faz sentido, tendo em vista que os solados mais gastos à borracha está em um estado mais macio, permitindo-se que esta se deforme com maior intensidade, e consequentemente haja uma maior penetração desta na rugosidade da superfície

A presença de contaminantes em uma superfície, muitas vezes, exerce maior influência sobre o coeficiente de atrito do que o tipo de cobertura que tem esta superfície. [13]

Durante a locomoção sobre uma superfície contaminada, a primeira ação observada é a compressão da película do contaminante contra esta superfície.[16] Desta forma, durante o movimento observa-se a ocorrência de uma cunha na espessura do filme contaminante, como mostra a Figura 2.7. Para que haja um movimento com segurança, este filme de material contaminante deve ser rompido, de maneira que ocorra um contato efetivo entre o calcanhar do usuário com a superfície de contato.

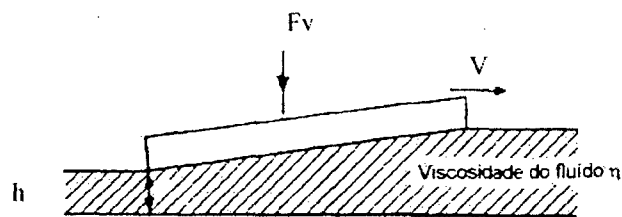


Figura 2.7- Princípio de operação da cunha de filme lubrificante sobre a superfície de contato.

A capacidade de carga de um dado filme pode ser calculado através da expressão proposta por FULLER, que consiste o calculo da espessura do filme contaminante (h_0) de acordo com a (2.1), que leva em consideração a viscosidade do líquido.[16]

$$h_0 = \left[\frac{6 \cdot \eta \cdot U \cdot l \cdot k_e \cdot k_p}{P_{av}} \right]^2 \quad (2.1)$$

Onde : η = Viscosidade do líquido

U = Velocidade relativa das duas superfícies

l = Comprimento do filme formado

b = largura do filme

K_e = Fator dependente da relação b/l que afeta pela capacidade de carregamento devido a um escoamento do líquido.

K_p = Fator que depende da geometria do filme em cunha.(considerado para efeitos práticos como 0,025.

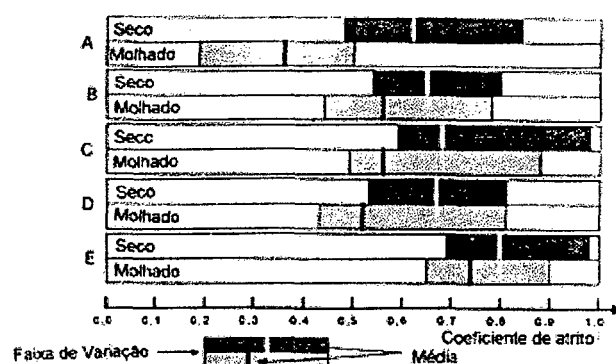
P_{av} = Pressão media do filme (F/bl)

F = Força vertical sobre o filme

Essa equação mostra que a espessura do filme aumenta conforme a viscosidade do líquido, sendo que as dimensões da área de contato e a velocidade relativa descresem a espessura, a medida que aumenta-se a carga aplicada. Desse modo, incrementos na velocidade relativa do movimento, aumentam a espessura do contaminante, reduzindo o contato efetivo entre as superfícies, tornando-as mais susceptíveis ao escorregamento.

É importante considerar que em superfícies de rugosidade elevada a espessura do filme contaminante é mais alta. Estas superfícies, por outro lado, permitem que haja um depósito do material contaminante nos vales do perfil microscópico, promovendo pontos de contato entre as superfícies. Notadamente, devem ser consideradas para a análise dos parâmetros em superfícies antiderrapantes variáveis como: rugosidade, tipo de material contaminante e calçado.

Ensaio realizado de coeficiente de atrito em pisos específicos de cerâmica Figura 2.8, mostraram que o comportamento das peças esmaltadas não antiderrapantes possuem, na condição seca, comportamento semelhante aos outros tipos. [17]



- A: Piso esmaltado Não Antiderrapante
- B: Não esmaltado Não Antiderrapante
- C: Esmaltado Antiderrapante
- D: Não esmaltado Antiderrapante (c/ rugosidade superficial)
- E: Não esmaltado Antiderrapante (c/ relevo superficial)

Figura 2.8- Faixa de variação e valor médio obtido para coeficiente de atrito dos desvios e tipos de pisos cerâmicos testados nas condições seca e molhada

No entanto, é na condição molhada que este tipo de cerâmica mostra a sua desvantagem, uma vez que nesta situação o seu comportamento é claramente desfavorável. As peças cerâmicas consideradas antiderrapantes apresentam, na condição molhada, um comportamento superior àquelas denominadas não antiderrapantes. Porém, observou-se que os mesmo valores obtidos na condição molhada não foram muito significativos, face aos obtidos pela cerâmica não esmaltada não antiderrapante. Dentre os pisos ensaiados, a cerâmica não

esmaltada com perfis de alto relevo apresentou-se como sendo o tipo mais seguro a ser utilizado em pisos cerâmicos, com maiores valores obtidos em ambas situações. A análise dos dados apresentaram uma grande faixa de variação entre diversos valores de coeficiente de atrito, o que significa que mesmo dentro de uma mesma classificação de material, encontra-se exemplares que apresentam performance diferentes quanto ao comportamento antiderrapantes. A variação da capacidade antiderrapante dos pisos quando passam da condição seca para molhada, difere de um piso a outro. Através da redução média do coeficiente de atrito avaliou-se que o tipo mais adequado para a segurança ao escorregamento é aquela que apresenta a menor diferença entre a condição seca e molhada.

As cerâmicas não esmaltadas e não antiderrapante, esmaltada antiderrapante, e não esmaltada antiderrapante com textura rugosa, possuem comportamentos semelhantes, e portanto, do ponto de vista de escorregamento, são equivalentes devido a textura superficial dos pisos. No caso da utilização de peças cerâmicas com perfis em alto relevo deve-se considerar a relação entre os benefícios e as desvantagens proporcionado pelos pisos, ou seja, apesar do piso ter menor variação antiderrapante, pode apresentar problemas relativos à manutenção e limpeza.

3. PISOS CERÂMICOS

3.1. Aplicações Típicas

Os revestimentos cerâmicos são produzidos com argila e ou matérias primas inorgânicas, e são geralmente utilizados para o recobrimento de pisos e paredes. Suas formas são usualmente produzidas por prensagem ou extrusão (ISO 13006-2). Posteriormente são secas e queimadas à temperaturas suficientes para desenvolver as propriedades requeridas. Para revestimento em pisos existem também os moldados para grandes áreas, que são uma mistura de material granulado com materiais de endurecimento rápido à temperatura ambiente, muito utilizados em grandes áreas industriais e comerciais.

Inúmeras são as aplicações deste tipo de material, como seu uso em áreas comerciais e industriais, tais como cozinhas, e em áreas de manufatura de fábricas, ambientes públicos, residências e banheiros, de um modo geral.

Todos estes ambientes estão sujeitos às variações do meio e a grande tráfego de pessoas, conseqüentemente o risco de acidentes por escorregamento é eminente.

Um dos fatores ambientais importantes, relacionados com a segurança durante a utilização de revestimentos para pisos, diz respeito à facilidade de limpeza das superfícies contaminadas com produtos químicos (como graxas, óleo, água com tenso ativos) ou partículas. Se o piso é de fácil limpeza, reduz-se a possibilidade de acidentes por escorregamento.

3.2. Características Superficiais

Os pisos podem ser esmaltados (contendo uma cobertura de vidro fundido sobre a superfície, deixando-os impermeáveis), ou não esmaltados, sendo ambos inertes ao fogo. Outro tipo de superfície são as que sofrem o processo de polimento, envolvendo basicamente uma superfície não esmaltada com brilho de acabamento obtido através de polimento mecânico abrasivo.

Dentre as características mais importantes para que um piso seja considerado antiderrapante, destaca-se a sua rugosidade superficial, da qual dependerá o desempenho da

interface do pé calçado ou não, com a superfície de trânsito. Por outro lado, a rugosidade compromete a capacidade de limpeza do piso. Desta forma, o conhecimento da rugosidade de um determinado tipo de piso, antes de ser utilizado em um dado ambiente, deve ser uma preocupação constante entre os projetistas.[17]

Avaliações da rugosidade de diversas superfícies podem ser realizadas através de rugosímetros portáteis. Embora a rugosidade média apresente correlação com a resistência ao escorregamento, está não é suficiente, uma vez que superfícies com perfis macro e microscópios totalmente diferentes podem apresentar as mesmas leituras de rugosidade.[15]

A alteração do perfil geométrico da superfície de contato é a melhor maneira para se garantir o desempenho antiderrapante. Basicamente, há duas maneiras de alterar o perfil geométrico em alto relevo de revestimentos cerâmicos utilizados em pisos: (a) modificar o perfil através da conformação mecânica durante a prensagem; e (b) a inclusão de material abrasivo na superfície do piso. Para obter perfis de alto relevo, diversos elementos geométricos podem ser utilizados, tais como, pirâmides, tetraedros, teias em alto relevo, semi-esferas e a própria inclusão de abrasivos durante o processo de fabricação. A Figura 3.1, mostra alguns exemplos de pisos antiderrapantes.

Investigações sobre o comportamento de superfícies de perfis e geometrias diferentes, na presença de resíduos e sua capacidade de retenção dos mesmos, tem sido reportadas.[21]. O uso de material abrasivo na superfície da peça é empregado principalmente quando se busca contornar a presença de materiais contaminantes de textura macia ou de baixa viscosidade. A presença de material contaminante na superfície ocasionará a ocorrência de dupla superfície de contato, ou seja, uma entre a sola e o filme contaminante e outra entre o filme contaminante e a superfície de trânsito. A inclusão do material abrasivo visa restabelecer o contato entre o calçado e a superfície de trânsito, através do rompimento da dupla superfície ocasionado por cantos vivos do material abrasivo. Se o material abrasivo não possuir resistência suficiente ao desgaste, com o tempo de uso, esta propriedade do abrasivo se tornará ineficiente.

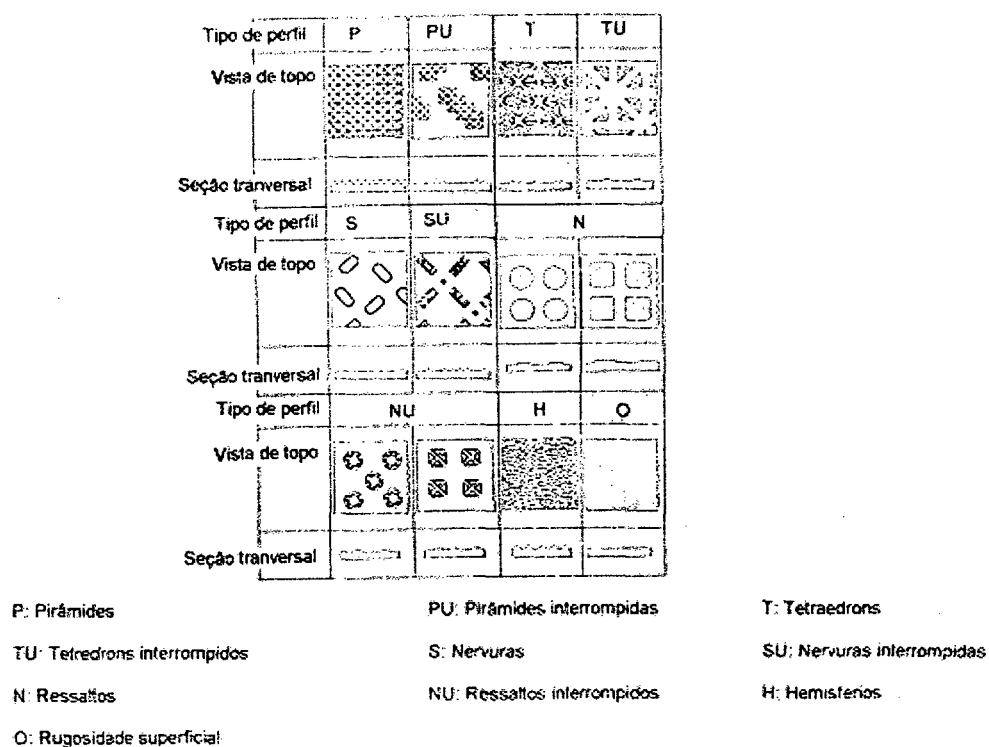


Figura 3.1- Tipos de perfis encontrados em peças cerâmicas para pisos antiderrapantes

Na prática os produtos de pisos cerâmicos, dentro de uma linha de produção em grande quantidade de série e lote, estão sujeitos a flutuações de parâmetros de processo que podem levar a variações não desprezíveis da resistência ao escorregamento a um mesmo tipo e modelo de piso.

4. CONCEITO DO COEFICIENTE DE ATRITO

A primeira idéia de atrito leva a pensar em uma força que age contra uma ação de movimento sobre um corpo no espaço. Sua existência pode ser observada empiricamente em todo tipo de movimento descrito por um corpo sobre uma superfície qualquer. Fisicamente, tem-se explicado a sua existência em função da posição de um dado corpo no espaço e principalmente da velocidade descrita pelo corpo durante o movimento. Desta maneira observa-se a existência de um vetor no sentido contrário ao movimento existente que varia com a velocidade desenvolvida pelo corpo.[11]

4.1. Princípio físico

Estudos sobre o coeficiente de atrito iniciaram por volta do século XVI quando Leonardo da Vinci fez suas primeiras observações sobre o atrito, atribuindo como sendo 0,25 o coeficiente de proporcionalidade entre a força de atrito e o peso do corpo em questão.[11]

Pesquisadores[13]; [19] relatam que em 1699 AMONTONS, em um estudo sobre atrito indicou como sendo 1/3 o valor desse fator de proporcionalidade para diferentes materiais testados. Posteriormente na Rússia em 1727, encontrou-se para o fator de proporcionalidade entre a força de atrito e o peso do corpo 0,3.

Durante o período de 1779 á 1781, COULOMB [11]; [13], realizou pesquisas que o levaram a concluir que o coeficiente de atrito, na época chamada de proporcionalidade, dependia dos materiais utilizados e desta forma chegava-se a uma relação entre a força de atrito F_t e a força normal exercida pelo corpo F_n , através do coeficiente de atrito μ , de acordo com a (4.1).

$$F_t = \mu \cdot F_n \quad (4.1)$$

COULOMB (1785), chegou às seguintes conclusões:

- A força de atrito é uma força que se opõem ao movimento relativo entre duas superfícies, é proporcional à força normal;

- O coeficiente de atrito não depende de áreas de contato entre superfícies;
- O coeficiente de atrito não depende da velocidade relativa entre as superfícies.

Em 1835 MORIN [13], apresentou o conceito de coeficiente de atrito estático (μ_e), para explicar a idéia de uma força necessária para causar o movimento de um corpo, e que, a partir do início do movimento, inicia-se o coeficiente de atrito dinâmico (μ_d). Durante os experimentos observou-se que em muitos casos o coeficiente estático é maior que o dinâmico.

4.2. Coeficiente de atrito estático

A definição do coeficiente de atrito estático está baseada nas definições de forças que contribuem para a sua existência, em relação foram estabelecidos os seguintes conceitos:

- Supondo a existência de dois corpos em contato entre si, pode-se definir a força de atrito estática entre eles como sendo uma força tangencial que ocorre na interface e é caracterizada como sendo contrária ao movimento de um em relação ao outro.

- O máximo valor atingido pela força de atrito estático ocorre na iminência do movimento entre os dois corpos, a chamada força limite de atrito.

Assim, a definição de coeficiente de atrito estático (μ_e); é uma relação entre a força limite de atrito (F_t) e a reação normal do plano onde o corpo esta apoiado (F_n). (4.1)

$$\mu_e = \frac{F_t}{F_n} \quad (4.1)$$

Segundo esses pesquisadores, o coeficiente de atrito estático tem sua existência independente da área da superfície de contato, no entanto possui relação com a natureza das superfícies em contato e proporcionalidade com a força normal.

4.3. Coeficiente de atrito dinâmico

O coeficiente de atrito dinâmico (μ_d) é definido de maneira semelhante ao estático, ou seja em função da existência de uma força chamada de força de atrito cinético (F_c), e é definido como uma força que surge na interface do corpo com a superfície onde está apoiado (F_n). [20].

Assim que se inicia o movimento, a intensidade desta força é menor que a força de atrito estático(4.3).

Desta forma, pode-se definir o coeficiente de atrito dinâmico analogamente ao coeficiente de atrito estático, ou seja, como sendo a relação entre a força de atrito cinético e a força normal à superfície, sendo de menor valor que o coeficiente de atrito estático.

$$\mu_d = \frac{F_c}{F_n} \quad (4.3)$$

A realização de ensaios com a variação de velocidade, sobre uma superfície obtiveram comportamento como mostra a Figura 4.1. Nota-se que para velocidades maiores o coeficiente de atrito diminui, e ao contrário, as velocidades próximas de zero o coeficiente dinâmico se confunde com o estático, e aumenta a variação dos resultados do coeficiente de atrito.

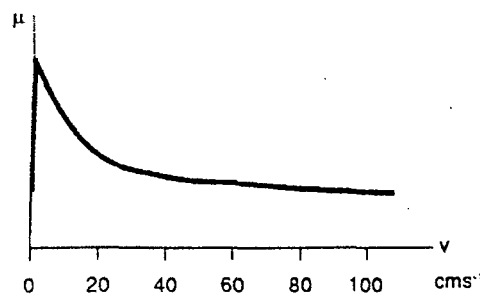


Figura 4.1- Comportamento do coeficiente dinâmico em relação a velocidade

4.4. Interações superficiais

No início do século 20, novas pesquisas foram conduzidas sobre o fenômeno do atrito e trouxeram uma série de novas contribuições: Estudos do coeficiente de atrito em borrachas mostraram que estes materiais não obedeciam as leis do atrito, tendo um comportamento particular. O coeficiente de atrito varia em função da velocidade.

Experimentos confirmam tal afirmação [13] e também concluíram que o coeficiente de atrito das borrachas dependem de muito fatores como: tempo de contato das duas superfícies e do seu comportamento visco-elástico.

Outro conceito introduzido é da natureza molecular do atrito [19], as chamadas "pontes soldadas". O atrito é uma força que surge através de pontos de contato entre duas superfícies, resultantes de irregularidades, que tendem a uma adesão e assim surgindo o fenômeno conhecido como "soldagem por forças elétricas" ou as "pontes soldadas". Quando se força o movimento relativo entre estas superfícies, ocorre o rompimento e o restabelecimento destas pontes de soldagem.

O movimento portanto deve superar estes obstáculos através de sua deformação, ou abrasão, resultando, desta forma, no surgimento de uma força que se opõem ao movimento e que o número de pontes soldadas é proporcional à pressão exercida na interface das duas superfícies.

No campo dos estudos da visco-elasticidade [13], o coeficiente de atrito (μ) entre duas superfícies pode ser definido como sendo a soma de uma componente de adesão F_a com outra componente de deformação F_d (4.1)

$$\mu = F_a + F_d \quad (4.1)$$

Considerando o caso do deslocamento de uma pessoa calçada com um sapato comum com solado de borracha sobre uma superfície metálica, há apenas a contribuição da componente de deformação da borracha, sendo desprezível a deformação do metal. No entanto, se o movimento envolver ambas superfícies visco-elásticas, ambas as componentes de cada superfície devem ser consideradas.

5. CARACTERIZAÇÃO DO ESCORREGAMENTO EM PISOS CERÂMICOS.

O comitê técnico da ISO/TC 189 da International Organization for Standardization preparou a norma ISO 10545 que descreve os procedimentos para testes para determinar as características de revestimentos cerâmicos listados na ISO 13006. A norma ISO 10545 está dividida em 17 partes, cabendo a cada uma um procedimento de teste específico. A parte correspondente ao procedimento para ensaio para a caracterização das resistência ao escorregamento é a nº17 da norma ISO 10545-17- Determinação do coeficiente de atrito.

Neste procedimento de ensaio somente é requerido materiais que serão utilizados como pisos e são descritos dois métodos de medição do coeficiente de atrito dinâmico e um estático, cujos resultados seguem um critério de classificação.

5.1. Métodos dinâmicos para a determinação do coeficiente atrito

5.1.1. Método A- Deslizador Dinâmico

5.1.1.1. Princípio de operação

Este método de medição consiste no deslocamento de um material deslizante e que se move sobre a superfície a analisar a uma velocidade constante. A carga aplicada ao material que desliza sobre a superfície é também definida e mantida constante, e a força de arraste é medida e relacionada com o coeficiente de atrito.

É um método considerado versátil, pois tanto é possível utilizá-lo *in loco* como em laboratório, e pode ser realizado em superfícies secas e úmidas. É adequado tanto para superfícies lisas como para superfícies resistentes ao escorregamento. O material deslizante é concebido para simular o calcanhar do pé.

5.1.1.2. Configuração de operação

O aparelho consiste basicamente em uma estrutura sobre quatro rodas movido por um motor, a uma velocidade de 17 mm/s. O esquema do mecanismo de medição é mostrado na Figura 5.1 e Figura 5.2. Consiste em um sensor deslizante de borracha padronizada colado à extremidade de um eixo posicionado verticalmente. Este sensor de borracha desliza horizontalmente sobre a superfície.

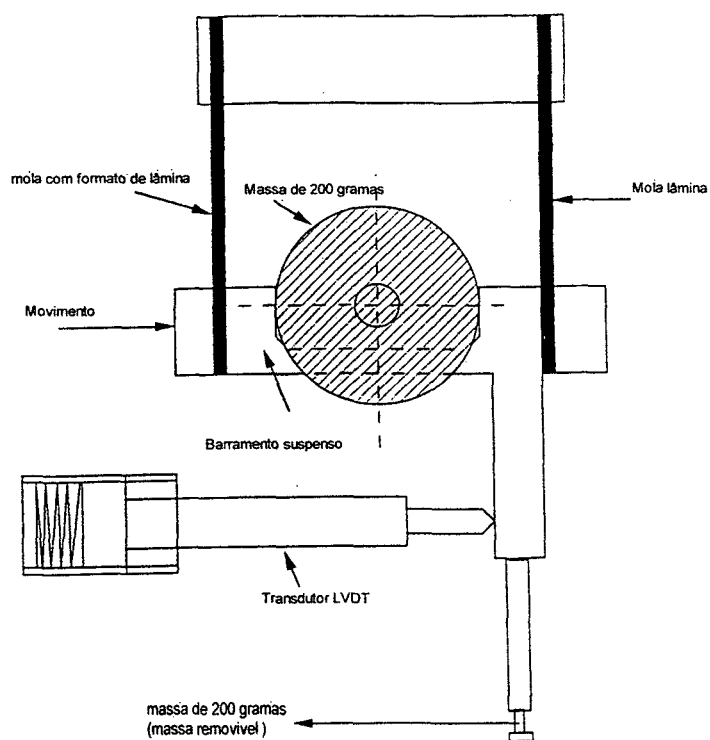


Figura 5.1- Mecanismo de medição de força

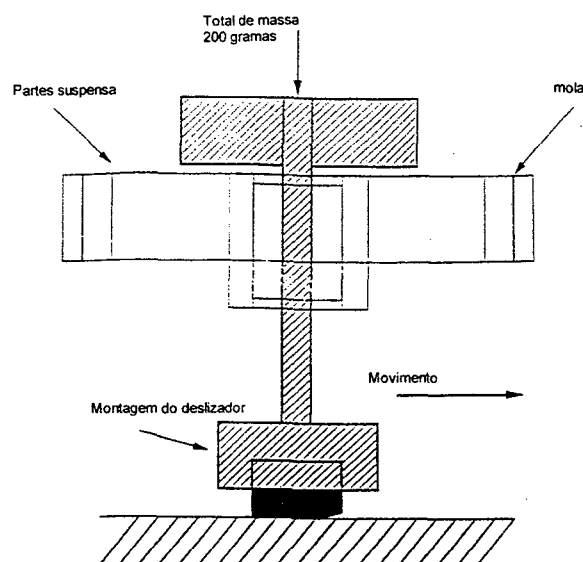


Figura 5.2 Sistema de carga vertical sobre a superfície

Uma carga constante é aplicada verticalmente sobre o conjunto eixo/sensor, que estando suspenso por duas lâminas paralelas, sofre deflexão, causada pelo arraste do atrito, que é medida através de um transdutor linear de sensibilidade 800 mV/V/mm e incerteza 0,3 %. O deslocamento da haste do transdutor pode ser indicado por um galvanômetro de leitura direta, um registrador gráfico ou eletronicamente integrado para resultar na média do coeficiente de atrito.

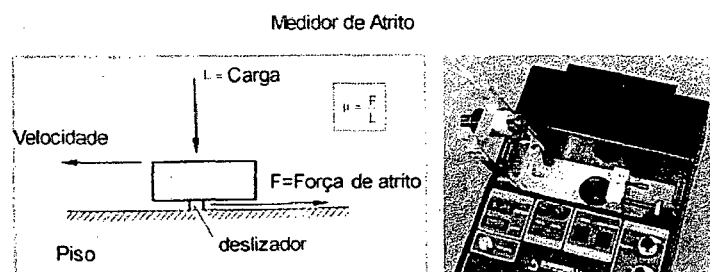


Figura 5.3 Modelo de deslizador dinâmico Italiano

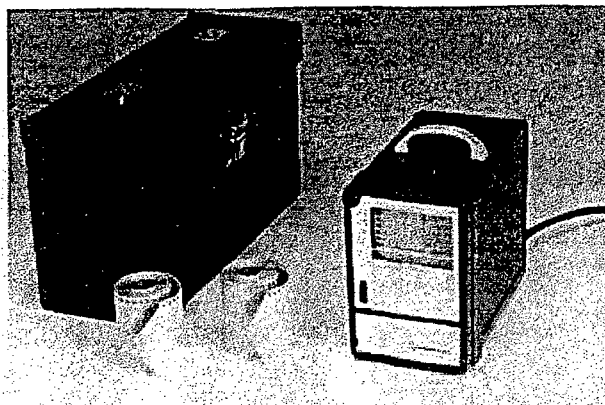


Figura 5.4- Registrador gráfico.

5.1.1.3. Características metrológicas e operacionais

Preparação do deslizador

Para iniciar o ensaio é necessário que se prepare o deslizador que fará contato com a superfície a ser ensaiada. O deslizador é composto por uma cilindro de borracha padronizada (4S rubber) de 9 mm de diâmetro que é colado em um cilindro de metal de igual diâmetro. Utilizando uma lixa de carbeto de silício de granulometria 400, apoiada em uma superfície plana, deve-se sobre a lixa desgastar suavemente o deslizador para remover pontos de imperfeição superficial da borracha.

Na extremidade da borracha deve-se realizar um pequeno chanfro de no máximo 1 mm de altura com 12° de inclinação. É importante salientar que o desgaste da superfície do deslizador seja plana não ocorrendo arredondamento Figura 5.5.

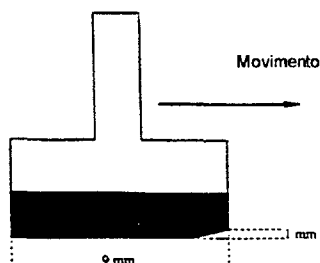


Figura 5.5 - Posição do chanfro sob o deslizador.

Operação de regulagem

A regulagem do equipamento é realizada em duas partes: Inicialmente efetua-se a regulagem do zero do transdutor de deslocamento linear LVDT, que deve indicar zero quando

nenhuma força é aplicada. A seguir, aplica-se uma força tangencial de 2 N (200 gf) na direção da força de atrito, que corresponde ao mesmo valor da carga aplicada verticalmente sobre o deslizador, como mostra Figura 5.1. E esta operação deverá ser realizada com o sistema em repouso.

Procedimento de teste a seco e molhado

Antes de iniciar os ensaios é importante que se faça uma limpeza nas superfícies com a finalidade de eliminar a contaminação superficial que eventualmente possa existir nas peças a serem ensaiadas. O trecho a ensaiar deve, no mínimo, ter um comprimento de 1m. Após a limpeza e a secagem dos pisos a serem ensaiados, deve-se instalar o deslizador no equipamento e posicioná-lo sobre a superfície. Após a regulação do equipamento, inicia-se o movimento sobre a superfície e observa-se a indicação que é proporcional à força de atrito desenvolvida. Durante o ensaio o deslizador sofre desgaste e deixa fragmentos de borracha sobre a superfície ensaiada, o que deve ser limpo antes de um novo ensaio. O número de medidas segundo a norma deve ser de três, lidas diretamente no mostrador ou em um registrador gráfico. Outros sistemas utilizam um sistema eletrônico integrado, tornando mais rápida as medições.

Para o procedimento de ensaio molhado realiza-se o mesmo procedimento mencionado acima, porém antes do início deve-se saturar a superfície a ser ensaiada com uma solução de água e um agente tenso-ativo (tipicamente Triton X, fabricação MERCK) na proporção de três gotas para 250 ml de água destilada.

Devem-se realizar-se, três ensaios em posições diferentes sobre a superfícies das peças, e fazer a limpeza antes de cada medição, em posições e direções diferentes.

O resultado é obtido através da média aritmética das medições realizadas, e para resultados obtidos através de registrador gráfico, calcula-se a média dos picos registrados graficamente. De acordo com o resultado obtido da média, a aprovação segue de acordo com a Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Classificação adotada de acordo com a norma ISO 10545-17

Classificação	Coeficiente de atrito	
	Estático	Dinâmico
Classe 1	< 0,5	< 0,4
Classe 2	≥ 0,5	≥ 0,4

5.1.2. Método C- Plataforma Inclinada

5.1.2.1. Princípio de Operação

O uso da plataforma inclinada é mais freqüente em testes de superfícies de pisos para uso industrial de grande tráfego e em áreas de piscinas. Podem ser ensaiadas superfícies sujeitas a contaminação como óleo, água, ou mesmo a seco. Este método também é adequado tanto para superfícies lisas como superfícies que exigem resistência ao escorregamento tanto pés calçados como descalços.

Pela natureza do teste não é possível realizar *in loco* os ensaios, e os resultados são expressos através de medidas angulares da plataforma inclinada, quando a pessoa sobre a plataforma inicia o escorregamento. A norma ISO 13006, indica que o ângulo de 22° corresponde a uma rugosidade equivalente a um coeficiente de atrito de 0,4 medida pelo método anteriormente descrito.

5.1.2.2. Configuração do sistema

O sistema é constituído de uma plataforma, elevada a uma altura suficiente que possibilite livre inclinação em um ponto de apoio. A plataforma possui 600 mm de largura e 2000 mm de comprimento com possibilidade de regular a inclinação entre 0° e 45°, como mostra a Figura 5.1. A velocidade angular da plataforma é de no máximo 1°/s, ou seja para realizar toda a inclinação máxima de 45° seriam necessários 45 segundos. O sistema é controlado por uma pessoa de teste sobre a superfície e o movimento de inclinação pode ser de modo contínua ou gradual. Para a leitura da inclinação, é utilizado um indicador de ângulos fixado no equipamento, a partir de 0,5° e de incerteza 0,2°. Para proteger a pessoa de teste, existe um corrimão nas laterais e cintos de segurança, permitindo movimentos livres sobre a área e preservando a integridade física da pessoa durante o teste, já que são esperadas quedas durante o ensaio.

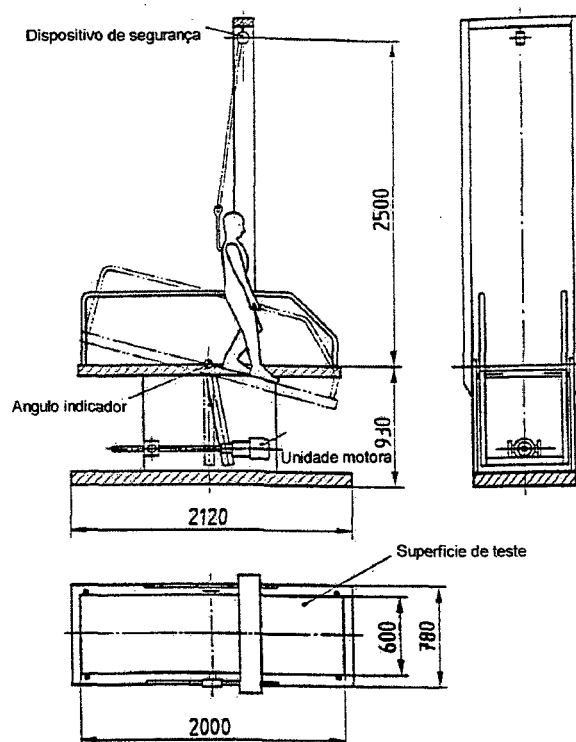


Figura 5.6 Esquema da plataforma inclinada

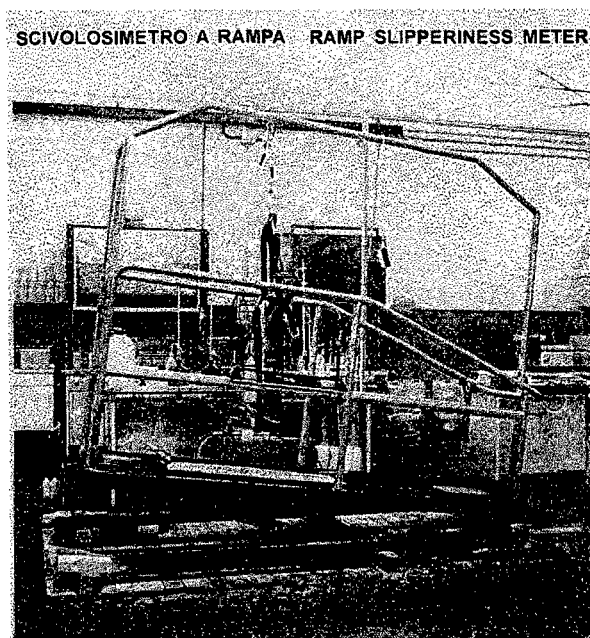


Figura 5.7 - Plataforma inclinada (modelo comercializado)

5.1.2.3. Características metrológicas e operacionais

A área de ensaio especificada pela ISO, compreende uma área mínima de 1000 mm X 500 mm, a qual devera incluir juntas preenchidas por uma argamassa composta por uma parte

de cimento e três de agregado. Um cuidado adicional deve ser tomado com as peças cerâmicas que apresentam perfis em alto relevo, ou ranhuras, que requeiram assentamento em uma direção específica. A execução do ensaio consiste na observação dos movimentos acedentes e descendentes dos indivíduos sobre a rampa, a qual deverá estar recoberta por uma substância contaminante, neste caso com um óleo mineral padronizado (SAE 10W30).

A pessoa que estará encima da superfície entra calçando sapatos com solados de base de nitril-caoutchouc, de dureza ,na escala shore A de 73 ± 5 , e que tenha o perfil como mostra a Figura 5.1 (ISO/DIS 10545).



Figura 5.1- Sola padrão para calçado

A quantidade de substância contaminante é de 100 ± 1 ml, que deverá ser espalhada tanto na superfície a ser ensaiada quanto na superfície do solado.

O ângulo crítico de escorregamento deve ser obtido três vezes por duas pessoas que possuam características de andar normais, o que implica que o método utiliza parâmetros biomecânicos, o que torna necessário um cuidado especial com a escolha dos indivíduos que farão parte dos testes.

Sendo um sistema onde o indivíduo faz parte do procedimento de medição, há necessidade de realizar uma calibração do sistema, considerando parâmetros biomecânicos. No momento anterior a execução do ensaio, o indivíduo passa por procedimentos de calibração utilizando-se de três superfícies de pisos padronizados, E, P, e R. e, cujo ângulo de aceitação (α), definido através de extensivos testes como ângulo de aceitação para cada padrão $\alpha_{S,E}$, $\alpha_{S,P}$, $\alpha_{S,R}$ de acordo com Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Ângulo de aceitação padronizadas e valores críticos de diferença

Superfícies padrão de pisos	$\alpha_{S,i}$	Cr D _{95%}
E	10,7°	3,7°
P	18,2°	2,7°
R	26,8°	2,3°

As diferenças críticas das três superfícies padronizadas são para um nível de confiança de 95% e limites de repetitividade de acordo com a norma DIN ISO 5725.

A calibração é realizada para cada pessoa escolhida e são realizados três ensaios de acordo com as condições descritas acima. As médias dos três ensaios são determinadas ($\alpha_{k,E,i}$; $\alpha_{k,P,i}$; $\alpha_{k,R,i}$) e, a partir das respectivas diferenças entre os ângulo de aceitação padrão, são obtidos os valores de correção ($\Delta\alpha_{E,i}$, $\Delta\alpha_{P,i}$, $\Delta\alpha_{R,i}$).

Após definidos os ângulos de aceitação para o indivíduo ($\alpha_{k,E,1}$; $\alpha_{k,P,1}$; $\alpha_{k,R,1}$); bem como os valores de correção individual ($\Delta\alpha_{E,1}$, $\Delta\alpha_{P,1}$, $\Delta\alpha_{R,1}$), compara-se com os ângulos padronizados das superfícies e as diferenças críticas respectivamente. Caso não se encontrem de acordo com a Tabela 5.1, a pessoa deve ser substituída por outra.

Os ensaios para testes com superfícies devem ser realizados em temperatura dentro da faixa 23 ± 5 °C. São determinadas três medições para cada pessoa e são calculadas as médias ($\alpha_{0,1}$, $\alpha_{0,2}$), e posteriormente é calculado o valor de correção (D_i), que depende das características biomecânicas do indivíduo utilizado para a calibração, e do ângulo de aceitação encontrado conforme as quatro possibilidades da.

O resultado da medição α_i será de acordo com (5.1), e a média aritmética dos dois resultados é o valor final do ângulo crítico obtido para a superfície em questão de acordo com (5.2). Este resultado é comparado com a Tabela 5.3 que define a classificação de grupo ao qual pertencem as propriedades à resistência ao escorregamento.

Tabela 5.2- Valores de correção dependem da pessoa e da medida dos ângulos testados

Possibilidades	Valores de correção (D_i)
$\alpha_{0,i} < \alpha_{k,E,i}$	$D_i = \Delta\alpha_{E,i} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{k,E,i} < \alpha_{0,i} < \alpha_{k,P,i}$	$D_i = [\Delta\alpha_{E,i} + (\Delta\alpha_{P,i} - \Delta\alpha_{E,i}) \times \frac{\alpha_{0,i} - \alpha_{k,E,i}}{\alpha_{k,P,i} - \alpha_{k,E,i}}] \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{k,P,i} < \alpha_{0,i} < \alpha_{k,R,i}$	$D_i = [\Delta\alpha_{P,i} + (\Delta\alpha_{R,i} - \Delta\alpha_{P,i}) \times \frac{\alpha_{0,i} - \alpha_{k,P,i}}{\alpha_{k,R,i} - \alpha_{k,P,i}}] \times \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\alpha_{k,R,i} < \alpha_{0,i}$	$D_i = \Delta\alpha_{R,i} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\alpha_i = \alpha_{0,j} + D_i \quad (5.1)$$

$$\alpha_{ges} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad (5.2)$$

Tabela 5.3- Classificação dos ângulos de aceitação médios em função das propriedades antiderrapantes (DIN 51130).

Intervalo de classificação para os resultados finais (α_{ges})	Grupos de classificação de propriedades antiderrapantes
De 10° á 19°	R 10
19° á 27°	R 11
27° á 35°	R 12
Acima de 35°	R 13

Juntamente com o método também se obtém o parâmetro chamado volume de deslocamento, que é a capacidade de uma superfície deslocar determinado volume de um contaminante. A quantificação é realizada através da aplicação e nivelamento superficial de uma pasta padronizada de peso específico conhecido sobre uma de área 100 mm x 100 mm e calculada as diferenças de massas antes e depois de aplicada a pasta, com o uso de uma balança de erro máximo de 0,05 g. São realizadas 04 medições.

Com estes parâmetros calcula-se o volume do deslocamento e este volume recebe uma classificação que varia de V 04 á V 10, ver Tabela 5.4 .

Tabela 5.4- Classificação dos valores de volume de deslocamento (DIN 51 130)

Volume de deslocamento mínimo [cm ³ /dm ²]	Grupo de classificação
4	V4
6	V6
8	V8
10	V10

A importância destas duas classificações de acordo com a DIN, é recomendar a melhor associação entre resistência ao escorregamento e volume de deslocamento, de modo a obter uma condição de trabalho segura na indústria alimentícia da Alemanha [21]; [17]. A Tabela 5.5, ilustra algumas recomendações

Tabela 5.5- Requisitos mínimos para a resistência ao escorregamento e volume de deslocamento para ambientes de trabalho em indústria alimentícias (Norma ZH 1/157).

Áreas de trabalho	Resistência ao escorregamento	Volume de deslocamento
Cozinhas de hospitais	R 12	-
Cozinhas de grande extensão	R 12	V 04
Laticínios	R12	-
Produção de queijos	R11	-
Abatedouros	R13	V 10
Fábrica de embutidos	R13	V 06
Padarias	R11	-
Fabricas de produção de óleo comestível	R13	V 04

5.2. Método Estático para a determinação do coeficiente de atrito.

5.2.1. Método B- Deslizador Estático

5.2.1.1. Princípio de operação

O ensaio de medição de coeficiente de atrito estático é realizado com um medidor de força horizontal que registra a força necessária para dar início do movimento de um corpo. O método tanto pode ser utilizado *in loco* como em laboratório. Pode ser medido em superfícies lisas como as que exigem resistência ao escorregamento. Entre a superfície a analisar e a carga aplicada há um material de borracha padronizada para simular os pés calçados. O método é utilizado sobre bandejas ou bases a úmido e ou a seco. A razão necessária para causar o movimento inicial e a carga conhecida levam a determinação do coeficiente de atrito estático. Deve-se garantir que a carga aplicada esteja posicionada paralelamente a superfície de ensaio.

5.2.1.2. Configuração do sistema

Uma das principais vantagens do uso deste método de medição é o uso de instrumentos simples e de fácil realização desde que executados de modo cuidadoso, como mostra a Figura 5.9.

A norma ASTM C 1028 estabelece que um dinamômetro seja utilizado para puxar uma massa de 50 libras (22 kg) sobre um elemento de neolite¹ em contato com a superfície a ser ensaiada, nas condições seca e molhada. No entanto a ISO 10545 adota uma massa de 4,5 kg atuando na superfície do elemento de contato 4S RUBBER.

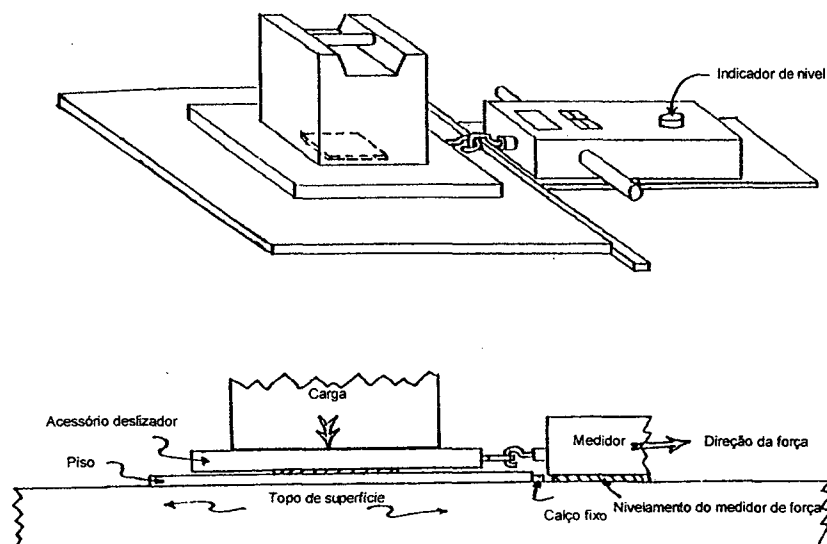


Figura 5.9- Esquema de ensaio para a determinação do coeficiente de atrito estático pela norma ISO 10547-17

¹Neolite- marca registrada e produzida pela Goodyear Tire and Rubber Co.

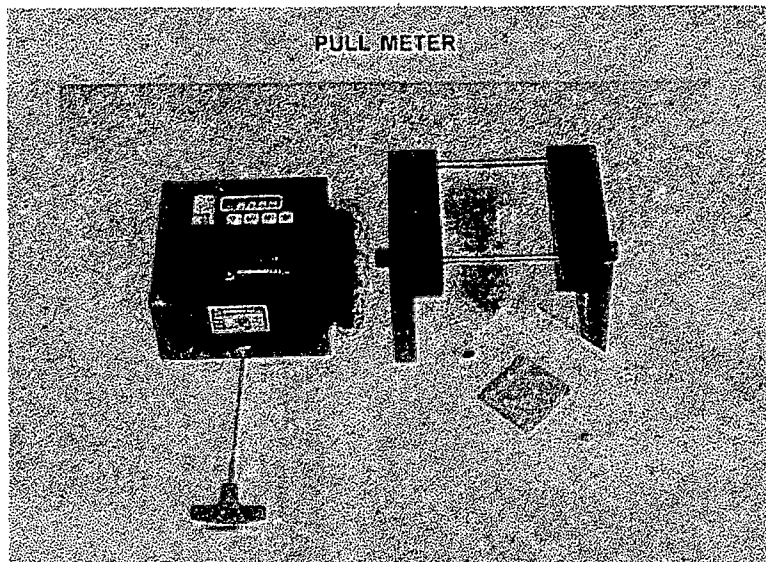


Figura 5.10 - Modelo comercial Italiano.

5.2.1.3. Características metrológicas e operacionais

O deslizador é composto por uma peça de borracha padronizada tipo "4S RUBBER" de dureza IRD 90 ± 1 , e de tamanho $75 \times 75 \times 3 \text{ mm}^3$ e uma placa de madeira de $200 \times 200 \times 20 \text{ mm}^3$, onde há um parafuso fixo no canto de aplicação de tração com o dinamômetro de resolução de 0,25 kgf (aproximadamente 2,5 N).

Para iniciar o ensaio é necessária a preparação da superfície da borracha onde se realiza um desgaste prévio com uma lixa 400 com a finalidade de remover completamente regiões que possuem característica de brilho na superfície da borracha. O movimento a ser realizado durante este desgaste, deve ser somente em um sentido durante quatro vezes, devendo ser repetido a um giro de 90° , tomando cuidado de assegurar que não se criem ondulações sobre a superfície.

Preparação da superfície de vidro para a calibração do sistema

A norma ISO 10545, recomenda realizar uma calibração onde utiliza-se duas placas de vidro, uma de tamanho $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ e outra de $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$. Adicionando entre estas duas gramas de carbetto de silício em pó de granulometria 220 e algumas gotas de água. Para tanto, realiza-se um movimento circular com a peça de 100 mm exercendo a função de ferramenta de desgaste, tornado as superfícies translúcidas devendo-se posteriormente, limpar com água corrente e depois secá-las. A placa de vidro $150 \times 150 \times 6 \text{ mm}^3$ será a superfície padrão.

Este procedimento de calibração deve ser executado no início de cada procedimento de ensaio e a cada troca para superfícies diferentes. A equação utilizada para determinar o resultado padrão é dada por (5.1). De acordo com a norma ISO 10545-17, o valor de referência de Calib. COF é de $0,75 \pm 0,05$

$$CalibCOF = \frac{R_d}{n \times W} \quad (5.1)$$

Onde : R_d é a soma de quatro indicações no dinamômetro.

n é o número de indicações.

W é a massa que atua sobre a superfície (4,5 kg).

O procedimento de ensaio descrito na norma estabelece que a preparação dos corpos de prova devem seguir a seguinte ordem: limpeza, enxágüe e secagem de cada corpo de prova. Sobre cada um destes deve ser colocada então a placa de teste, e sobre ela a massa de 4,5 kg. Utilizando-se o dinamômetro, deve-se determinar a força necessária para que o movimento relativo entre a placa de teste e o corpo de prova inicie. Devem ser realizadas quatro medidas em diferentes posições de cada um dos três corpos de prova, resultando então em doze diferentes indicações necessárias para o cálculo do coeficiente de atrito estático, seguindo as seguintes equações:

Em superfície seca;

$$F_d = media\left(\frac{R_d}{n \times W}\right) \quad (5.2)$$

Em superfície molhada;

$$F_w = media\left(\frac{R_w}{n \times W}\right) \quad (5.3)$$

Onde : F_d Coeficiente de atrito estático para superfície secas;

F_w Coeficiente de atrito estático para superfícies molhadas;

R_d Somatória das quatro indicações de força obtidas no ensaio a seco;

R_w	Somatória das quatro indicações de força obtidas no ensaio molhado;
n	Número de indicações realizadas ($n=4$);
W	Massa total aplicada sobre a superfície de teste (Placa de testes + 4,5kg)

O procedimento para a situação molhada é semelhante ao descrito para o ensaio a seco, com exceção das operações de molhagem dos corpos de prova, que, neste caso, devem ser saturados durante todo o ensaio em uma solução de água com uma substância tenso-ativa, na proporção de três gotas para cada 250 ml de água destilada.

O critério de aprovação segue de acordo com a Tabela 5.1 do item 5.1.1.3, de acordo com a norma ISO 13006.

5.3. Padronização e procedimentos normalizados

Diversas normas são utilizadas para a determinação das propriedades antiderrapantes em superfícies cerâmicas. No mundo as organizações de maior importância possuem diretrizes sobre estes procedimentos, como a AFNOR (França); ASTM (Estados Unidos); BSI (Grã Bretanha); DIN (Alemanha). No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também adotou diretrizes e regulamentações para a determinação do coeficiente de atrito para pisos cerâmicos lançada como as normas ASTM 13816 a 13818, que foram baseadas nas norma ISO 13006 e norma ISO 10545, respectivamente.

Atualmente com o aumento das exigências quanto as exportações há uma maior atenção dos fabricantes nacionais com respeito às prescrições das diversas normas, sem haver uma uniformização, ou seja, alguns fabricantes utilizam como norma a DIN e outros utilizam a BS ou mesmo a ASTM.

A International Organization for Standardization, apesar dos esforços com o objetivo de padronizar as referências sobre o assunto adotadas na norma ISO 10545-17, ainda deixa dúvidas quanto a adoção de um ou outro método, descrito na norma, mundialmente, principalmente com relação a segurança aos valores obtidos por estes métodos.[22], [55].

As diferenças básicas encontradas nas diversas normas referem-se com os procedimentos com que os ensaios são executados: Enquanto que algumas normas utilizam-se do coeficiente de atrito dinâmico, outras consideram o coeficiente de atrito estático, e mesmo

dentro daquelas que procuram investigar o mesmo parâmetro, há diferenças na metodologia empregada para os ensaios[10]; [13]; [23]; [24]; [50]; [56].

Nos Estados Unidos [25] os métodos de ensaio para a determinação do coeficiente de atrito são os mecânicos que podem ser divididos em três tipos básicos: medição através do deslocamento de pesos sobre uma superfície; utilização de estrutura articuladas, e medição através do uso de pêndulo de ensaios como mostra a Figura 5.1.

Na Alemanha utiliza-se o plano inclinado, como descrito no item 5.1.2. Na França, usa-se o método do pé artificial sobre a superfície de ensaio, e um segundo que consiste em um pêndulo de atrito. E, na Grã-Bretanha através da British Standards Institution, se estabelece que todo tipo de tratamento final em revestimento de piso devem ser examinados, enquanto sua resistência ao escorregamento deve ser submetido a ensaios utilizando-se o equipamento desenvolvido pela RRL² denominado pêndulo de atrito Figura 5.2.

Nova Zelândia e Austrália também utilizam este método, no entanto mais do que definir os métodos há necessidade de estabelecer critérios de análise dos procedimentos e resultados obtidos dos ensaios, definindo-se pontos em comum entre os métodos adotados ou determinar os resultados das medições em intervalos de confiança.

Pesquisadores[26]; [27] realizaram uma avaliação com seis tipos de testes entre dinâmicos e estáticos onde avaliou-se a repetitividade, inclusive do sistema Tortus, com variação de solado, pisos e outras condições.

As avaliações conduzidas por estes pesquisadores foram executadas por dois operadores com a finalidade de reduzir a influência de operação por diferentes pessoas. Através da análise de variância das médias lidas do coeficiente de atrito dinâmico, encontra-se uma variação de 31% das médias encontradas, o que para efeitos de comparações entre valores é considerado muito alto [26].

Para os resultados com o Tortus o mesmo autor observa variações de mais de 10% das médias encontradas, cuja variação pode ser atribuída ao método de transcrição dos resultados, ou a um erro de leitura do operador diretamente no mostrador.

Comparações inter-laboratoriais [27] foram realizadas e considerado algumas influências e suas conseqüentes implicações sobre o Tortus, como meio para a determinação do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos e outros materiais para piso. Foram realizados testes

² RRL - Road Research Laboratory

Comparações inter-laboratoriais [27] foram realizadas e considerado algumas influências e suas conseqüentes implicações sobre o Tortus, como meio para a determinação do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos e outros materiais para piso. Foram realizados testes com diferente operadores, tipos de pisos, direções de ensaio, métodos de análise, e diferentes deslizadores, concluindo-se que o Tortus chega a variações de leituras de 0,1 ou mais, e que variações entre médias de 10,7%.

Para os ensaios de medição do coeficiente de atrito na condição molhada este autor considera alta as variações nos resultados obtidos, o que causa extrema preocupação quando se pretende que este sistema seja considerado como referência para resistência superficial ao escorregamento. Para este autor não há clareza se a variação dos resultados é devida a um procedimento operacional do Tortus ou à maneira como os resultados são registrados e interpretados. O procedimento operacional segundo ele, não poderia influenciar as leituras de um operador ou as interpretações dos resultados, mas poderiam ser esperadas variações entre operadores. Este erro segundo o autor poderia ser amenizado se o sistema fosse totalmente integrado como na Figura 5.13.

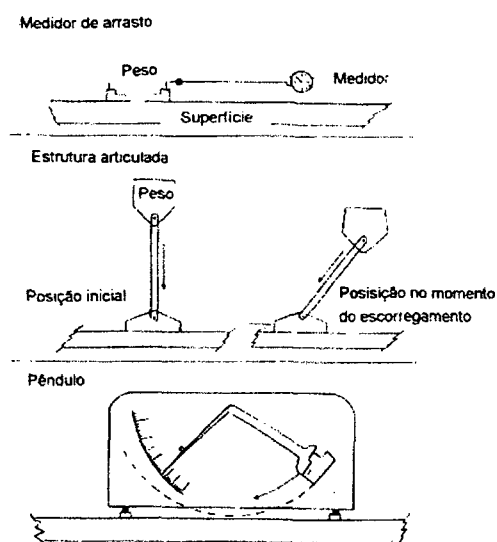


Figura 5.11- Três tipos básicos de medidores de escorregamento amplamente utilizados nos EUA.

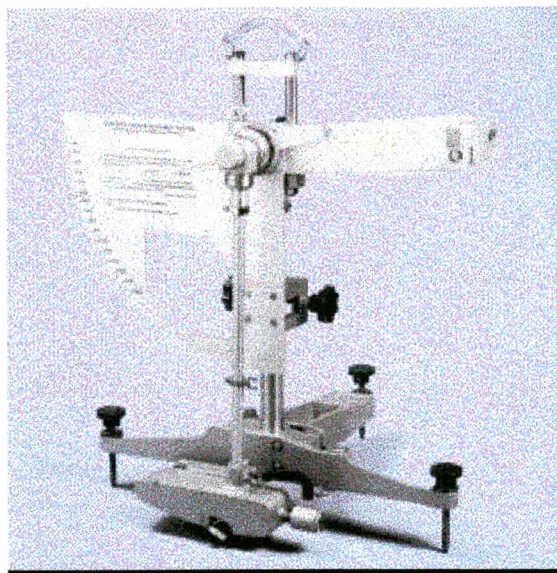


Figura 5.12 - Pêndulo de atrito RRL.



Figura 5.13 - Sistema Integrado do deslizador dinâmico.

5.4. Aspectos Legais

Alguns pesquisadores citam a importância de confrontar o problema de avaliação e quantificação da resistência ao escorregamento com algumas estatísticas.

No ano de 1979 somente no Reino Unido foram registrados 5.886 quedas seguidas de óbito. Dos 76.250 acidentes domésticos registrados no ano de 1980 na Grã Bretanha, 43% eram

devido à quedas, e deste total 69.417 resultaram em afastamento das vítimas do trabalho por 3 ou mais dias[16], [57].

Na Finlândia anualmente cerca de 100.000 pessoas necessitam de tratamento médico devido a quedas por escorregamento, representando 12% do total de ferimentos causadores de incapacidade naquele país. [10]

Na França segundo Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) estima-se que cerca de 100.000 pessoas por ano são vítimas de algum tipo de queda por escorregamento, e que algumas destas vítimas ficaram incapacitadas permanentemente nos mais diversos graus. Por razões óbvias a capacidade de um piso ser resistente ao escorregamento como requisito em segurança em edificações é de elevada importância [13].

Com respeito aos requisitos de segurança de edificações uma análise importante nos EUA: em 1989 foram registradas 5.000 mortes causadas por incêndios, e de acordo com as estatísticas da National Safety Council (NSC) mais de 12.000 pessoas morrem anualmente como resultado de acidentes de escorregamento e quedas. Metade destas mortes foram causadas por escorregamento e 75% destes casos, ocorrem com pessoas consideradas idosas, ou seja com mais de 65 anos.[28]

Para as companhias americanas, ferimentos, mortes, litígios, multas e altas indenizações são cinco das razões básicas do porquê os E.U.A se preocuparem com a avaliação dos riscos de escorregamentos e quedas em locais de trabalho. Segundo a National Council on Compensation Insurance (NCCI) as estatísticas indicam que aproximadamente 1/4 dos ferimentos em locais de trabalho são resultados de escorregamento e quedas

A Americans With Disabilities Act (ADA) estabelece fundamentalmente que superfícies de pisos requeridas em rotas de acesso sejam firmes, estáveis e resistentes ao escorregamento, ou seja, de acordo com o departamento de justiça, o não atendimento a estes requisitos da ADA podem resultar em queixas e processos contra as companhias através dos órgãos da procuradoria pública.

Outro órgão dos EUA, a OSHA estabelece um requisito fundamental em pisos: locais de trabalho devem manter os pisos conservados, limpos e secos, tendo além disso, valores compatíveis dos parâmetros de resistência ao escorregamento [29].

Na Europa a lei Diretriz 89/106 de dezembro de 1988, relativo a materiais de construção, dentre outras, diz que "*...a construção deve ser planejada e projetada de modo que não ofereça risco de acidentes em serviço como escorregamentos, quedas e colisões...*".

A nível de Itália, o artigo 2087 do código civil que genericamente diz "*..o construtor deve adotar as medidas necessárias para proteger a integridade física de trabalhadores..*"; a D.P.R.nº547 de abril 1955 diz "*...os pisos devem estar em condições de proporcionar segurança aos movimentos de trabalhadores...*" e a lei 13/89 de decreto ministerial relativo à descrições técnicas, fixa para os critérios mínimos, a medição do coeficiente de atrito com base no método da British Ceramics Research (TORTUS) cuja classificação segue a Tabela 5.1.[17].

No Brasil não foi encontrado estatísticas de acidentes relacionados ao escorregamento entretanto, recentemente foi publicada a norma ABNT 13818, anexo N para a determinação do coeficiente de atrito dinâmico pelo método inglês BCR Tortus cuja a classificação adotada corresponde à Tabela 5.1.

Em Santa Catarina a Polícia Militar do Corpo de Bombeiros através da resolução de nº 004/CAT/CB/95 [35], estabelece com base nas normas de segurança contra incêndio o valor médio do coeficiente de atrito dinâmico do piso a ser assentado nas rotas de fuga (corredores, escadarias, halls e saídas) como sendo igual ou maior a 0,4, considerado satisfatório para ensaios a seco como para molhado, e cuja especificações técnicas dos produtos (classificação e valor médio) deverão ser definidas nas plantas bem como é de responsabilidade do executor técnico da obra apresentar, quando solicitado, os laudos e as especificações do fabricante, sobre o produto utilizado.

No entanto o comitê ISO/TC 189 tem classificado pisos com resultados menores que os limites especificados como satisfatórios para instalações normais [30] e discute-se a possibilidade de estabelecer duplos limites de aceitação dos parâmetros de coeficiente de atrito dinâmico como mostra a Figura 5.1.

Apesar de haver esforços para estabelecer métodos, critérios técnicos e legais quanto às propriedades de resistência ao escorregamento de pisos e ao seu uso, as especificações não estabelecem intervalos de aceitação para os resultados obtidos nas medições, tão pouco nos procedimentos utilizados.

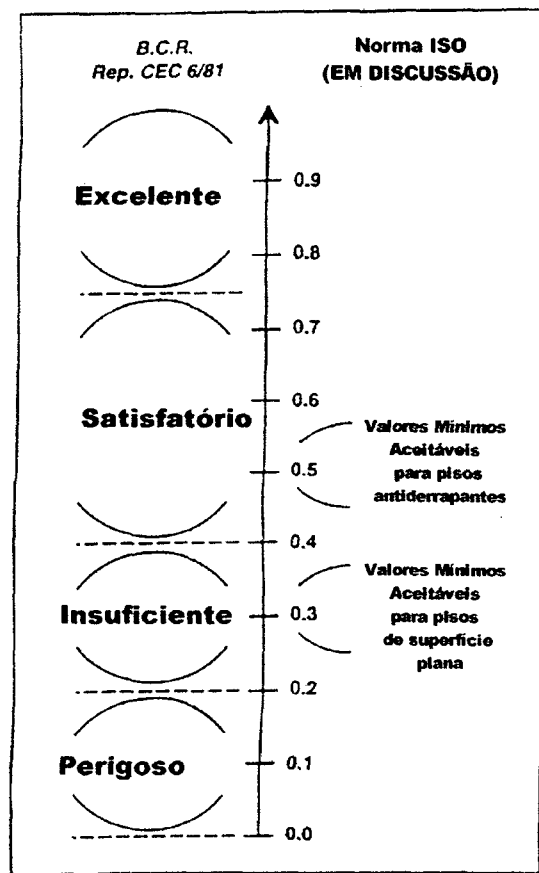


Figura 5.14 - Valores de referência para o coeficiente de atrito

6. SISTEMA TORTUS

6.1. Aspectos construtivos

O sistema analisado em profundidade neste trabalho foi desenvolvido pela British Ceramic Research para a determinação do coeficiente de atrito dinâmico, mais conhecido como sistema "Tortus".

Este sistema, como já mencionado no item 5.1.1, enquadra-se perfeitamente com o que está previsto na norma ISO 10545-17 como o método A, e no Brasil, como norma ABNT 13818 - anexo N. O esquema geral desse sistema é mostrado na Figura 6.1:

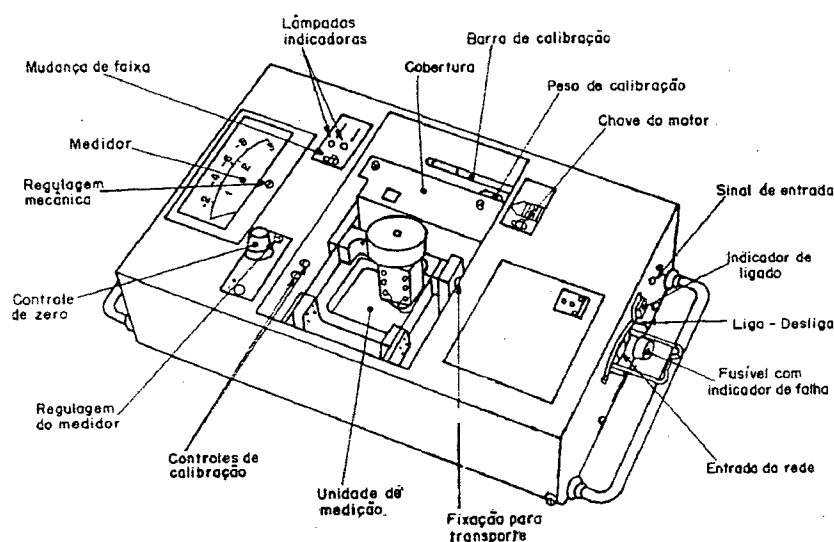


Figura 6.1 - Esquema geral do sistema tipo TORTUS

O equipamento, montado sobre quatro rodas, usa um motor assíncrono de rotação constante para gerar movimento uniforme do sistema a uma velocidade de 17 mm/s, movimentando sobre a superfície analisada todo o equipamento Tortus, inclusive o deslizador de borracha, que simula o movimento e o calcanhar do pé respectivamente. Este movimento é controlado por uma chave de motor, como mostra a Figura 6.1.

O sistema é dotado de um dispositivo que aplica uma carga vertical constante da ordem de 2,0 N sobre a superfície analisada através de um deslizador de borracha, como mostra a Figura 6.2. Este dispositivo é fixado à uma barra de alumínio e em suas extremidades são acopladas a duas molas planas posicionadas em paralelo. Este conjunto está fixo a um segundo barramento de alumínio, que, por sua vez, possui pivô para articulação do conjunto. O dispositivo deslizador possui mobilidade horizontal através das molas, e o eixo vertical onde a carga é aplicada permite deslocamento longitudinal, possibilitando ao deslizador estar ou não em contato com a superfície analisada.

Na extremidade do primeiro barramento está posicionado o sensor/transdutor linear indutivo (LVTD) que se desloca com o movimento transversal das molas paralelas do dispositivo, transformando o movimento mecânico em sinal elétrico, gerando um sinal proporcional à força de atrito (Figura 6.2).

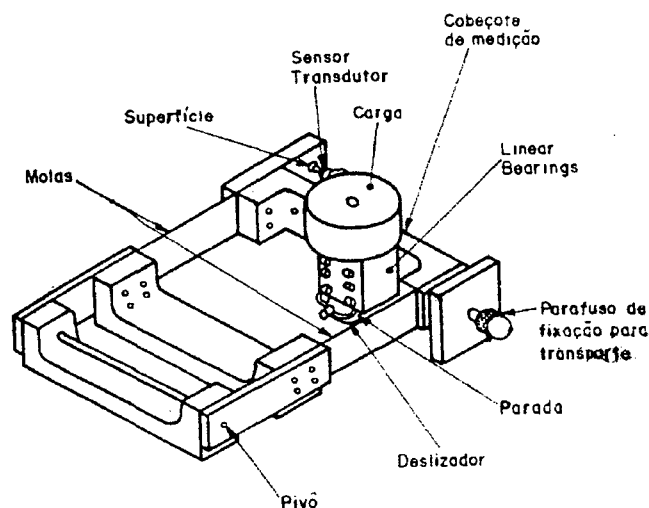


Figura 6.2 - Dispositivo de medição tipo Tortus: transdutor de força

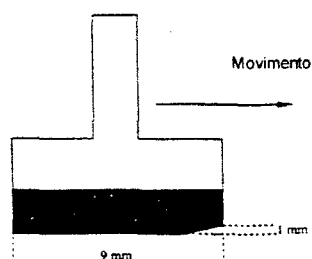


Figura 6.3- Formato do deslizador de borracha

A Figura 6.1, mostra a montagem e o posicionamento do dispositivo de medição no sistema Tortus, cujo o movimento relativo da deflexão das molas e da movimentação do sistema, possui a mesma direção.

O sinal gerado pelo transdutor é amplificado e transmitido a um galvanômetro como mostrador analógico que indica o coeficiente de atrito dinâmico. O sistema pode operar em uma das duas escalas: Escala 0~1, que possibilita indicações de coeficiente de atrito dinâmico de zero a 1; e escala 0~3, para indicações de zero a 3.

O sistema Tortus possui saída analógica de sinal para registrador gráfico ou para placa de aquisição de sinais A/D, que através de um algoritmo adequado, possibilita realizar medições de forma automatizada.

A automação do sistema Tortus, através de uma placa A/D de aquisição de sinais, integrada a um computador, permite maior rapidez na obtenção e análise dos resultados e disponibiliza um demonstrativo gráfico do comportamento do coeficiente de atrito com o tempo para cada ensaio superficial

6.2. Procedimento de regulação

No procedimento de medição, de acordo com o fabricante, deve-se realizar uma regulação do equipamento Tortus antes de iniciar as medições.

A primeira regulação a ser realizada é a de zero. Para isto, é necessário que o eixo com a massa vertical e deslizador esteja livre e em repouso. Posteriormente, aciona-se a chave para ativar o sistema. Nesta condição o mostrador analógico deverá coincidir com o zero das escalas. Caso contrário, deve-se utilizar do regulador de controle do zero, Figura 6.1, até que a indicação zero seja obtida.

Outro procedimento de regulagem refere-se ao ganho do sistema, como mostra a Figura 6.4. É necessário fazer coincidir o ponteiro com o fundo de escala, o que corresponde a um valor 1 do coeficiente de atrito. Este procedimento, é realizado com o auxílio da haste de calibração e uma massa padrão 200 g, que são fornecidas como acessórios do equipamento.

A haste é fixada ao primeiro barramento localizado no dispositivo de medição através de um orifício localizado próximo a cobertura de proteção do transdutor linear. Para a simulação da carga equivalente ao coeficiente de atrito 1, instala-se, através de um fio flexível, a massa, previamente fixada na haste de calibração, guiada por uma polia. Esta montagem simula a força horizontal gerada por uma carga vertical da ordem de 2,0 N no dispositivo de medição de forças. Este procedimento, conseqüentemente, corresponderia ao coeficiente de atrito de valor 1, uma vez que ambas as cargas, horizontal e vertical, possuem o mesmo valor.

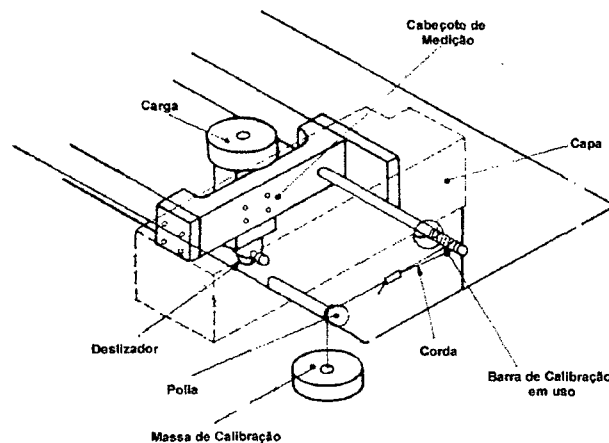


Figura 6.4- Regulagem do ganho do sistema Tortus.

Para proceder com a regulagem, uma vez posicionada a massa, deve-se fazer com que o ponteiro do mostrador analógico coincida com o valor 1, o que pode ser conseguido com o auxílio de um potenciômetro. A regulagem deve ser feita para as duas escalas 0~1 e 0~3. Para a mudança da escala há um interruptor à direita do mostrador analógico.

O procedimento de regulagem deve ser muito bem realizado, exigindo dos operadores cuidado e treinamento para minimizar suas influências nos resultados de medições, tanto na regulagem do zero quanto na do ganho.

6.3. Procedimento de medição

Para o procedimento de medição deve-se levantar o dispositivo de medição e limpar cuidadosamente o deslizador de borracha, usando uma lixa de granulometria 400, o suficiente para remover impregnações de contaminantes e não deformar a face de contato da borracha. Em seguida abaixa-se o dispositivo e coloca-se o eixo do deslizador em repouso preso a um suporte de arame. Realiza-se as regulagens do zero e do ganho, como descrito no item 6.2, sendo que as mesmas devem ser feitas diariamente ou quando do início de uma série de ensaios.

Após realizadas as regulagens do sistema Tortus, deve-se limpar a superfície a ser medida com álcool etílico comercial para remover a presença de gordura, posicionar o equipamento sobre a superfície a ser medida e ligar o equipamento. Deve ser verificado o zero com a escala previamente escolhida com o deslizador em repouso, em seguida deve-se abaixar o deslizador até entrar em contato com a superfície a ser medida e ligar o motor.

O equipamento deve percorrer uma distância de no mínimo 150 mm, e o resultado indicado no monitor correspondente à média dos valores adquiridos no ensaio. Este procedimento é repetido três vezes intercalando uma limpeza no deslizador, devendo-se evitar a medição na mesma posição, para tanto varia-se o posicionamento das placas.

O procedimento para a condição molhada, é realizada de maneira análoga.

6.4. Decomposição em módulos

O enfoque desse trabalho está sobre a caracterização metrológica do sistema Tortus como um todo. Embora mecanicamente e funcionalmente esse sistema pudesse ser desmembrado em uma série de submódulos, passíveis de serem separadamente analisados, optou-se por manter a unicidade do sistema e tratá-lo de forma genérica como um único sistema de medição, onde o seu comportamento será caracterizado a partir das respostas do sistema para valores de entrada controlados.

O sistema Tortus analisado nesse trabalho já encontrava-se integrado com um microcomputador que através de uma placa de aquisição de sinais (A/D) adquire e trata o sinal analógico associado à força de atrito dinâmica.

O sistema permite através da programação, um total de 180 pontos de leitura, da qual a indicação é uma média destes pontos em um tempo de 20 segundos.

6.5. Padrão de calibração

Infelizmente para a calibração do sistema não se dispõe de um padrão corporificado de referência. Adotou-se uma placa de vidro de superfície lisa, laminado e temperado, como referência para as avaliações e análises do coeficiente de atrito. Esta placa possui dimensões de 400 mm de largura; 1500 mm de comprimento e 6 mm de espessura de coeficiente de atrito de $0,85 \pm 0,10$ em condição seca e já estava disponível no CTC/Criciúma

7. CONFIABILIDADE METROLÓGICA DO SISTEMA TORTUS

Classicamente, a caracterização metrológica do sistema de medição Tortus deveria ser efetuada através de uma calibração abrangente e nas condições de medição. Superfícies padrão com coeficiente de atrito uniforme e perfeitamente definidos seriam medidas várias vezes e, da comparação dos resultados obtidos com os valores de referência, seriam calculadas as características metrológicas do sistema. Entretanto, não é fácil obter tais superfícies de referência. Além disso, há um grande número de outras variáveis, incluindo a preparação do sistema, da superfície, do deslizador, a direção de medição, habilidade do operador, que introduzem fontes de incertezas expressivas.

Entretanto, o sistema de medição da força de atrito é passível de calibração parcial. Este sistema pode ser subdividido em dois módulos: Inicialmente foi calibrado o sistema analógico de medição da força de atrito, que fornece um sinal elétrico analógico proporcional ao coeficiente de atrito dinâmico. O segundo módulo calibrado engloba a placa conversora analógica/digital (A/D) e o programa de computador que apresenta na tela do PC a indicação associada ao sinal de tensão do sistema de medição da força de atrito.

A análise de incerteza aqui apresentada não se limita à calibração parcial dos dois principais módulos de medição do sistema Tortus, mas leva em conta os vários outros aspectos operacionais e construtivos ligados ao processo de medição do coeficiente de atrito dinâmico com o sistema Tortus.

O sistema Tortus aqui analisado em detalhes é fabricado pela Seven Science Ltda. modelo Tortus e número de série 118, de propriedade da UFSC/FEESC.

7.1. Fontes de incerteza

As principais fontes de incerteza consideradas na presente análise estão apresentadas no diagrama da figura 7.1:

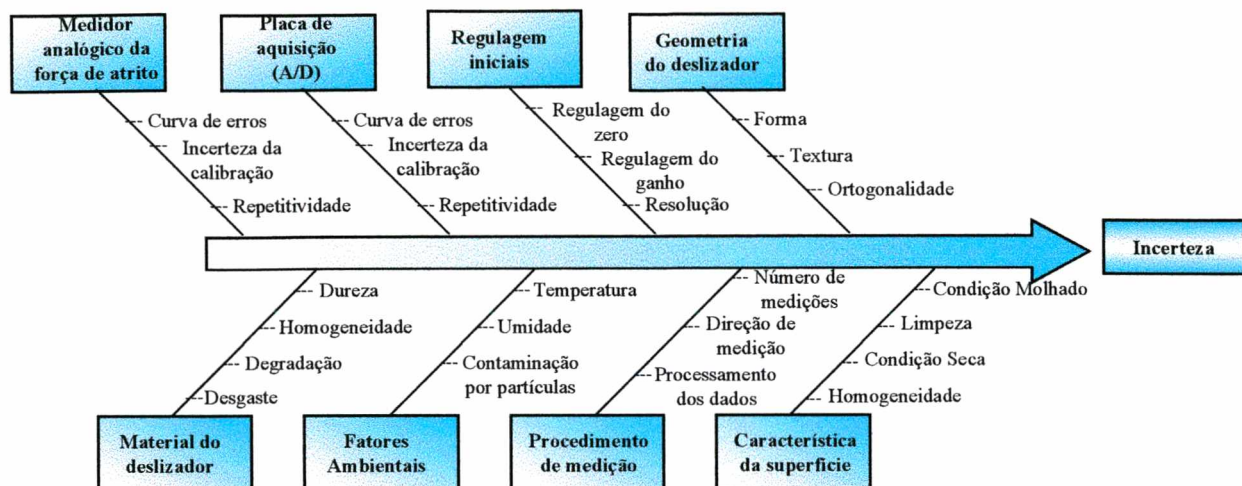


Figura 7 1 - Diagrama das fontes de incerteza considerados na avaliação de incerteza do sistema de medição Tortus

Estão organizadas em oito grupos:

- a) Medidor analógico da força de atrito: embora tenha sido calibrado separadamente, sua curva de erros não devidamente compensada, a incerteza de calibração e a própria repetitividade deste módulo trazem incertezas para o processo de medição;
- b) Sistema de aquisição de sinais: este módulo também passou por um processo de calibração, mas pelos mesmos motivos, sua curva de erros não devidamente compensada, a incerteza de calibração e a própria repetitividade são aqui consideradas como fontes de incerteza;
- c) Regulagens iniciais: regulagens do zero e do ganho, efetuadas pelo operador antes da operação do Tortus e a repetitividade inerente, contribuem para a incerteza;
- d) Geometria do deslizador: a forma geométrica da superfície de contato deslizador/superfície medida, sua textura (influenciada pelo desgaste e forma de lixamento), ortogonalidade em relação à superfície medida, são fontes de incertezas;
- e) Material do deslizador: o tipo de borracha do deslizador, suas propriedades (dureza, homogeneidade), seu envelhecimento e desgaste, são fontes de incertezas;
- f) Fatores ambientais: temperatura, umidade e contaminação por partículas do ambiente onde as medições são efetuadas constitui fontes adicionais de incerteza;
- g) Procedimento de medição: o número de medições efetuadas, as direções e posições de medição selecionadas sobre o piso e o algoritmo de processamento dos dados são fontes de incerteza que devem ser consideradas;

- h) Características da superfície: a qualidade da limpeza superficial da superfície a medir, a homogeneidade das suas propriedades nas várias posições, direções e mesmo entre várias peças de um mesmo lote e a uniformidade com que a água é espalhada sobre a superfície a medir no ensaio “a molhado” devem também ser consideradas.

A seguir são quantitativamente avaliadas as influências de cada uma destas fontes de incerteza.

7.2. Estimativa das fontes de incerteza

A análise de incertezas aqui conduzida está em conformidade com o guia ISO para expressão de incertezas em medições [32]. Cada fonte de incerteza pode ser avaliada ou por procedimentos estatísticos, normalmente através do desvio padrão, ou por procedimentos não estatísticos, baseados em observações analíticas, teóricas ou em informações preexistentes. Os procedimentos estatísticos são denominados pelo guia ISO como procedimentos “tipo A”, enquanto que os não estatísticos, “tipo B”. Procurou-se classificar o método de avaliação de cada uma das fontes de incerteza como “tipo A” ou “tipo B”.

Em ambos os casos, a incerteza atribuída a cada uma das fontes de incerteza foi quantificada através da incerteza padrão, isto é, o valor da incerteza correspondente a um desvio padrão [32].

Para a incerteza “Tipo A”, a incerteza padrão (u) foi estimada a partir de repetidas medições através do desvio padrão experimental dado por:

$$u(q) = s(q) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (7.1)$$

onde:

$s(q)$ é o desvio padrão experimental da variável q

$u(q)$ é a incerteza padrão da variável q

q é a variável aleatória

n é o número de valores independentes

Nas situações onde são efetuadas várias medições e a média dos valores obtidos é tomada como resultado, a incerteza padrão associada é estimada pelo desvio padrão experimental da média, dado por:

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{m}} \quad (7.2)$$

onde:

$u(\bar{q})$ é a incerteza padrão associada à média da variável q

$s(\bar{q})$ é desvio experimental da média das observações

m o número de observações efetuadas

Para estimativas de incerteza “Tipo B”, baseadas em informações preexistentes ou deduzidas por observação ou experiência, o caminho depende da informação disponível. No caso mais freqüente em que se conhece uma faixa de valores dentro da qual, com uma probabilidade uniforme o parâmetro analisado pode variar, isto é, $\pm a$ em torno de um valor central, a incerteza padrão ($u(q)$) é estimada por: [32]

$$u(q) = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (7.3)$$

onde:

$2a$ é a largura da faixa simétrica em relação ao valor central dentro da qual a variável q pode variar com probabilidade uniforme.

Considerando a ação simultânea das várias fontes de incerteza e que estas são estatisticamente independentes, isto é, o coeficiente de correlação entre elas é praticamente nulo, a incerteza padrão combinada (u_c) pode ser estimada por:

$$u_c = \sqrt{\sum (u_i^2)} \quad (7.4)$$

O número de graus de liberdade efetivos (ν_{eff}) associado à estimativa da incerteza padrão combinada pode ser estimado por: [32].

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}} \quad (7.5)$$

onde: u_c é incerteza combinada

u_i é incerteza padrão associada a i-ésima fonte de incerteza

v_i é número de graus de liberdade associada a i-ésima fonte de incerteza

N é número de total de fontes de incertezas analisadas.

Finalmente, a incerteza expandida ($U_{95\%}$) pode ser estimada por:

$$U_{95\%} = k * u_c \quad (7.6)$$

onde: k = fator de abrangência de acordo com o nível de confiança desejado e o número de graus de liberdade envolvido.

Na seqüência, as respectivas incertezas combinadas para cada grupo de fontes de incertezas serão quantitativamente avaliadas.

7.2.1. Medidor analógico da força de atrito

O procedimento adotado para a calibração do sistema analógico de medição de força de atrito (módulo I) foi o da caixa preta, que basicamente, consiste na observação do comportamento da resposta do sistema quando este é submetido a valores conhecidos e controlados da grandeza de entrada. Para simular forças aplicadas horizontalmente no dispositivo de medição foram usadas massas padrão, como mostra a Figura 7.1, e o sinal analógico obtido foi medido por um voltímetro digital. Ambas faixas de medição, 0 a 1 e 0 a 3, foram analisadas.

A calibração resultou na curva de erros para esse módulo, sobre a qual foram consideradas as seguintes fontes de incerteza:

- Incerteza das massas utilizadas (tipo B);
- Incerteza provocada pela resolução do mostrador digital (tipo B);
- Incerteza da regulação do zero (tipo B);

Os dados da função de cada massa aplicada Tabela 7.1 foram processados, e obteve-se os seguintes resultados mostrados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2– Calibração do medidor analógico da força de atrito; correção e desvio padrão expressos em valores do coeficiente de atrito (adimensional)

Coeficiente de atrito Conv.	Faixa de medição			
	Escala 0~1		Escala 0~3	
	Correção	Desvio Padrão	Correção	Desvio Padrão
0.30	-0,0196	0,0102	-	-
0.50	-0,0108	0,0088	-	-
0.60	-	-	-0,0434	0,0077
0.80	-0,0054	0,0030	-	-
1.50			-0,0421	0,0073
2.40	-	-	-0,0232	0,0038

Os valores obtidos para os desvios padrão da Tabela 7.2 são resultantes da ação combinada da repetitividade do próprio sistema analógico de medição da força de atrito e dos procedimentos de regulagem do zero e do ganho. Na Tabela 7.3 apresenta-se resultados da incerteza expandida e as respectivas correções para os níveis ensaiados.

Tabela 7.3- Resultados do cálculo de incerteza expandida para o sistema analógico de medição de força

Faixa de medição 0 a 1				
massa padrão [g]	Coef. De atrito VVC	Média das indic	Correção	Incerteza Expandida
60	0,3	0,3196	-0,0196	0,0118
100	0,5	0,5109	-0,0109	0,0104
160	0,8	0,8054	-0,0054	0,0072
Faixa de medição 0 a 3				
massa padrão [g]	Coef. De atrito VVC	Média das indic.	Correção	Incerteza Expandida
120	0,6	0,6434	-0,0434	0,0352
300	1,5	1,5421	-0,0421	0,0351
480	2,4	2,4232	-0,0232	0,0348

Se forem corrigidos os efeito sistemáticos da Tabela 7.3, a incerteza expandida definirá o intervalo com nível de confiança de 95% para o coeficiente de atrito.

No caso mais provável em que nenhuma correção seja aplicada sobre o valor medido, a incerteza expandida deverá ser estimada a partir do erro máximo:

Para a faixa de medição de 0 a 1, a correção máxima em módulo é 0,0196 e a respectiva incerteza expandida é de 0,0118. O erro máximo para 95% de probabilidade pode ser estimado

como a soma em módulo da correção e a estimativa da incerteza expandida, isto é, $0,0196 + 0,0118 = 0,0314$. Assim, o erro máximo seria representado como uma distribuição retangular, centrada em torno do zero, com limites em $\pm 0,0314$, resultando em uma incerteza padrão equivalente de $0,0314/\sqrt{3} = 0,0181$ no valor do coeficiente de atrito.

Analogamente, para a faixa de medição 0 a 3, a incerteza padrão equivalente, quando não corrigidos os efeitos sistemáticos, são dadas por: $(0,0434 + 0,0352)/\sqrt{3} = 0,0454$.

7.2.2. Sistema de aquisição de sinais

Para calibrar o sistema de aquisição de sinais, constituído da placa de aquisição (A/D) e o respectivo software, foram gerados sinais de tensão de referência e aplicados na entrada da placa de aquisição de sinais. As indicações observadas no monitor do sistema foram comparados com os valores de referência. Neste caso as fontes de incerteza consideradas foram:

- Incerteza da tensão de referência (tipo B);
- Incerteza provocada pela resolução da indicação mostrada no monitor (tipo B);
- Incerteza provocada pela repetitividade das indicações (tipo A).

Também daqui, da calibração parcial deste módulo, será obtida a curva de erros para as faixa de medição calibradas e também sua repetitividade e a incerteza do processo de calibração.

Para a avaliação do módulo II (placa de aquisição e software), foram realizadas medições em dez níveis com três indicações cada, mostradas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Níveis de sinais gerados para avaliação do comportamento do sistema de aquisição de sinais nos resultados em termos do coeficiente de atrito.

Sinal padr.(mV)	Médias lidas (μ)		
10,00	0,101227	0,100318	0,101377
20,00	0,195124	0,194914	0,194290
30,00	0,288188	0,287835	0,289111
40,00	0,381439	0,380929	0,382130
50,00	0,475817	0,476178	0,476846
60,00	0,570511	0,570263	0,570460
70,00	0,664731	0,664776	0,664738
80,00	0,758808	0,758553	0,758426
90,00	0,852751	0,852653	0,852173
100,00	0,946603	0,946656	0,946393

Os resultados obtidos do coeficiente de atrito foram avaliados e calculados os desvios padrão considerando-se 6 1/2 dígitos. Os resultados para escala 0~1 e 0~3, são mostrados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2- Resultado da correção e desvio padrão

Placa A/D					
Faixa de medição 0~1			Faixa de medição 0~3		
Coef. De Atrito Conv.	Correção	Desvio Padrão	Coef. De Atrito Conv.	Correção	Desvio Padrão
0,10	-0,0006	0,0005	0,30	-0,0019	0,0016
0,20	0,0052	0,0004	0,60	0,0157	0,0013
0,30	0,0120	0,0002	0,90	0,0361	0,0006
0,40	0,0187	0,0003	1,20	0,0562	0,0009
0,50	0,0241	0,0003	1,50	0,0723	0,0008
0,60	0,0296	0,0001	1,80	0,0889	0,0004
0,70	0,0353	0,0000	2,10	0,1058	0,0001
0,80	0,0414	0,0002	2,40	0,1242	0,0006
0,90	0,0475	0,0003	2,70	0,1424	0,0009
1,00	0,0534	0,0001	3,00	0,1603	0,0004

Tabela 7.3 - Resultados da correção e a incerteza expandida por nível

Faixa de Medição	0~1			0~3	
Coef. Atr. Conv.	Correção	U _{95%}	Coef. Atr. Conv.	Correção	U _{95%}
0,10	-0,00062	0,0014	0,30	-0,00186	0,0041
0,20	0,00522	0,0011	0,60	0,01567	0,0034
0,30	0,01205	0,0005	0,90	0,03614	0,0016
0,40	0,01873	0,0008	1,20	0,05619	0,0023
0,50	0,02410	0,0007	1,50	0,07231	0,0020
0,60	0,02965	0,0004	1,80	0,08894	0,0020
0,70	0,03525	0,0001	2,10	0,10576	0,0001
0,80	0,04140	0,0004	2,40	0,12421	0,0015
0,90	0,04747	0,0008	2,70	0,14242	0,0024
1,00	0,05345	0,0003	3,00	0,16035	0,0006

Os resultados obtidos da calibração da placa mostram significativo erro sistemático, atingindo valor máximo de 0,053 para a escala 0~1, e de 0,16 para a escala 0~3. Claramente os erros sistemáticos tem influência dominante no processo de medição frente à componente aleatória, cujos valores apresentaram-se na ordem de 1/10 das incertezas do medidor de força. Estes resultados mostram que os erros sistemáticos da placa de aquisição de sinais possuem comportamento linear e de proporção maiores que os do medidor de força, por outro lado o

inverso ocorre com as incertezas expandidas dos sistemas. Estas diferenças são mostradas na Figura 7.3, com os respectivos desvios.

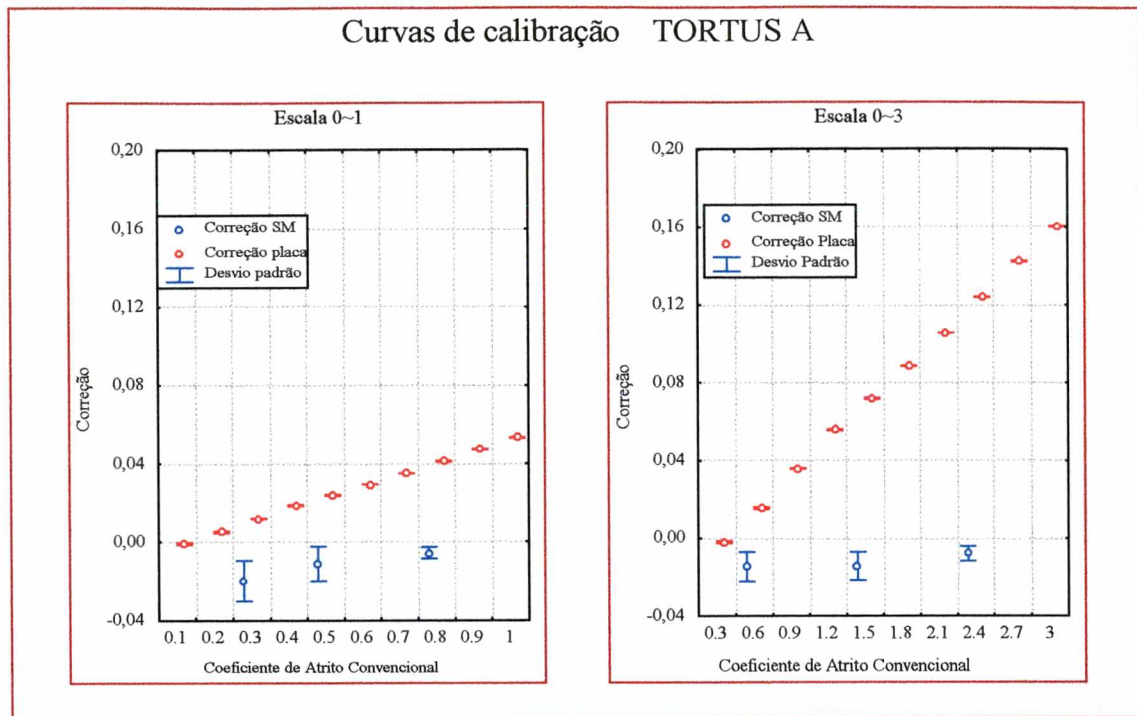


Figura 7.3 - Curva de calibração do sistema de medição de força e a placa de aquisição.

A combinação destes módulos (I e II) resultará em um balanço de incerteza do sistema integrado, sendo que a maior influência de erros sistemáticos se originará do módulo II. Estes serão melhor abordados no item estimativa da incerteza combinada.

Como foi possível observar, a incerteza associada à repetitividade das indicações do sinal é da ordem de $1 \cdot 10^{-4}$ do coeficiente de atrito, porém é fortemente influenciada pelo erro sistemático que, para a escala 0~1 é de 0,053 e, para o intervalo de 0~2,4 na escala 0~3, é de 0,12. Os ensaios serão realizados com a escala 0~3, e será considerado como valor típico para o balanço de incertezas o valor de 1,5 do coeficiente de atrito ao qual corresponde erro sistemático de 0,0723 e incerteza expandida de 2×10^{-3} .

7.2.3. Regulagens iniciais

A regulagem do medidor de forças deve sempre ser feita pelo operador antes de qualquer medição. Este procedimento, realizado por um operador imperfeito, é mais uma fonte de incertezas. Seu efeito sobre o resultado das medições foi estimado a partir da observação dos limites de incerteza para os seguintes fatores:

- Incerteza da regulagem do zero (tipo B);

- Incerteza da regulação do ganho (tipo B);
- Incerteza da resolução de indicação do mostrador analógico (tipo B).

Como incerteza para as regulações foram estimados para cada escala o equivalente a $1/6$ da menor divisão, ou seja, para a escala 0 a 1 o valor bruto estimado foi de $0,02/6=0,0033$ e para a escala de 0 a 3 o valor estimado foi de $0,10/6=0,0167$. Para a incerteza da resolução de indicação do mostrador analógico considerou-se como valor bruto o equivalente a $1/4$ da menor divisão, ou seja, 0,0050 e 0,025 para as faixas de medição de 0 a 1 e 0 a 3, respectivamente.

7.2.4. Estabilidade de longo prazo

Registros de medições do coeficiente de atrito, supostamente realizadas nas mesmas condições e com os mesmos deslizadores sobre uma mesma placa de vidro temperado, tida como referência, foram coletados ao longo de vários meses. Cada deslizador, identificado por uma diferente letra, deveria apresentar características semelhantes aos demais.

Estes resultados são mostrados na Tabela 7.1, sendo também representados em um gráfico de coeficiente de atrito dinâmico versus a data dos ensaios (Figura 7.1).

Os valores apresentados são a média de dez ensaios realizados no mesmo dia para cada deslizador. Estes resultados de fato mostram grande variação do valor médio com o tempo, chegando a um desvio padrão da ordem de 0,15 e levando a maior diferença de média encontrada para o mesmo deslizador da ordem de 0,47 de coeficiente de atrito. Estes resultados mostram variações excessivamente elevadas.

As variações encontradas são inadmissíveis. Procurou-se investigar os fatores responsáveis por tamanha variação e quantificar as influências de cada fator. Esta análise é apresentada nos próximos itens.

Tabela 7.7 - Resultado dos deslizadores sobre a superfície de vidro padrão.

Médias						
	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
Realizado em 15/04/97	1,016	0,799	0,873	0,984	0,973	1,030
Realizado em 31/07/97	1,109	0,895	0,821	1,299	1,164	1,258
Realizado em 17/10/97	1,298	1,254	1,050	0,828	1,065	1,065
Realizado em 03/03/98	1,249	0,976	0,945	1,088	1,238	1,498
Realizado em 19/05/98	1,096	0,967	1,018	1,176	1,133	1,202
Média	1,154	0,978	0,941	1,075	1,115	1,211
Desv.pad.	0,104	0,152	0,086	0,161	0,090	0,167
Dife=máx.-mín.	0,282	0,455	0,229	0,471	0,265	0,468

Desvio						
	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>
Realizado em 15/04/97	0,114	0,038	0,056	0,068	0,029	0,045
Realizado em 31/07/97	0,033	0,031	0,023	0,076	0,074	0,088
Realizado em 17/10/97	0,088	0,049	0,060	0,028	0,106	0,030
Realizado em 03/03/98	0,224	0,087	0,116	0,177	0,123	0,125
Realizado em 19/05/98	0,069	0,047	0,047	0,058	0,084	0,063

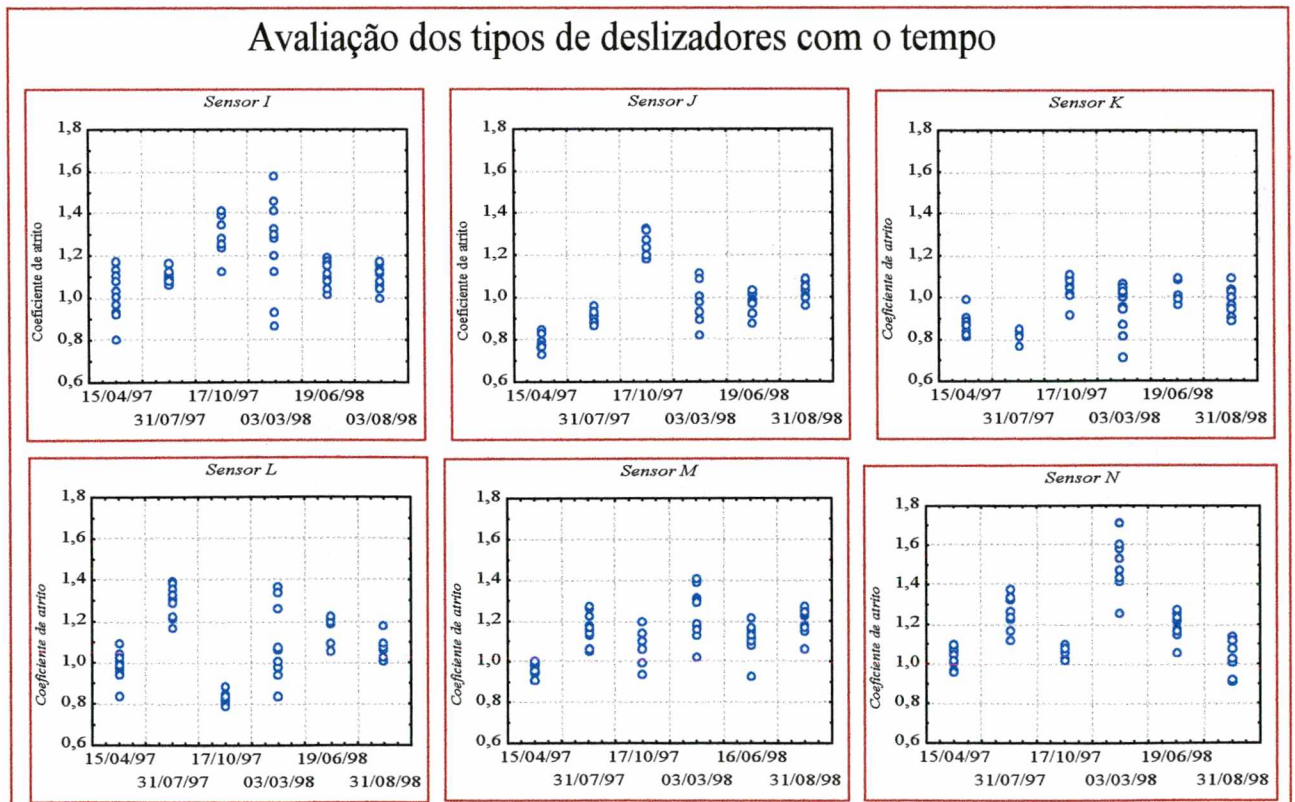


Figura 7.4 - Variação dos resultados obtidos em função do tipo de deslizador e período.

7.2.5. Características da superfície de referência

Durante os ensaios sobre a superfície de referência observou-se que o coeficiente de atrito não possuía o mesmo valor em toda a área. Feita esta observação realizou-se ensaios variando o posicionamento sobre esta superfície de referência.

Realizou-se os ensaios na condição "a seca", e selecionou-se três posições(Figura 7.5) sobre a superfície de vidro, e realizando-se 5 medições para cada posição. O deslizador selecionado para este ensaios foi o tipo K com as seguinte codificações: posição I (K_I); posição II (K_{II}) e posição III (K_{III}). Os resultados estão indicados na Tabela 7.8 representados na Figura 7.6.

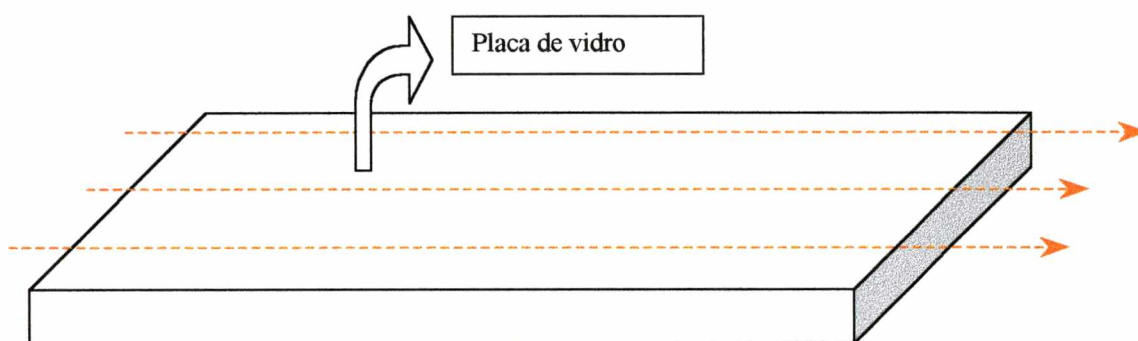


Figura 7.5 - Esquema de ensaio em posições diferentes sobre o vidro.

Tabela 7.8 - Resultados de ensaios de avaliação de posicionamento sobre o vidro em condição seca

Posição	Média	S
K_I	0,8423	0,1192
K_{II}	0,9082	0,0503
K_{III}	1,0056	0,1007

Comportamento em posições diferentes

Superfície de referência de vidro

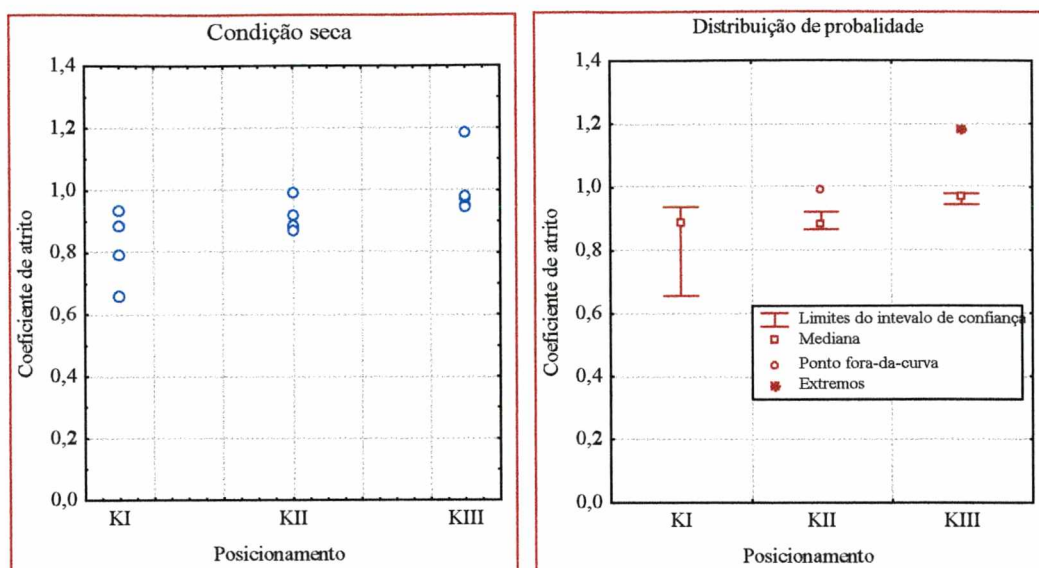


Figura 7.6 - Variação do coeficiente de atrito sobre a placa de referência em condição "a seco".

Estes resultados mostram que a superfície de vidro temperado utilizada não pode ser adotada como superfície de referência, uma vez que o valor indicado para o coeficiente de atrito varia significativamente.

Os resultados obtidos mostram variações de médias do coeficiente de atrito de 0,84 a 1,00, e de repetitividade de 0,05 a 0,12 sobre a superfície de referência, constatando-se que esta superfície não pode ser utilizada como referência, porém para efeito de análise do sistema fixou-se uma única posição e orientação, para minimizar a influência das variações do coeficiente de atrito ao longo da superfície do vidro temperado. O valor típico a seco da repetitividade para um deslizador do tipo K é de 0,090, determinada com 13 graus de liberdade.

7.2.6. Geometria do deslizador (GD)

Para que o sistema Tortus indique corretamente o coeficiente de atrito, seu elemento de contato, o deslizador de borracha, deve apresentar forma, orientação e texturas apropriadas quando em contato com a superfície do mensurando. Para tanto, o desgaste e o acabamento da superfície são feitos com o uso de uma lixa de granulometria 400. A lixa deve também remover a impregnação de partículas e dar uma forma plana as superfície de contato.

Para estimar as incertezas destes fatores sobre a determinação do coeficiente de atrito dinâmico, uma superfície de referência foi usada e vários ensaios foram realizados em uma mesma posição. Considerou-se no balanço de incertezas aspectos ligados a:

- Influência da forma do deslizador antes e depois do desgaste (tipo A);
- Incerteza provocada pelas características da textura (tipo A);
- Ortogonalidade do deslizador /superfície medida.
- Características da superfície de referência.

A influência da orthogonalidade foi considerada irrelevante, pois a fixação do deslizador é predefinida no dispositivo. Quando a superfície medida é abrasiva esta ocasiona desgaste excessivo do deslizador, modificando sua textura e forma de contato.

Foi utilizada uma superfície de referência formada por um vidro plano, liso e temperado, onde avaliou-se as influências da forma e da textura do deslizador. Todos os ensaios foram realizados sempre na mesma posição da superfície do vidro.

Para este ensaio foram selecionados três tipo de deslizadores (identificados por E, K e J) e analisadas as influências da forma de contato sobre o valor indicado. O ensaio consistiu em realizar dez ($n=10$) medições antes e depois de desgastar a superfície dos deslizadores com lixa de granulometria 400. O movimento realizado para o desgaste do deslizador foi aleatório, porém mantendo-se a superfície de contato do deslizador plana. Os resultados são mostradas na Tabela 7.9, onde calculou-se o desvio padrão experimental (s) para cada deslizador.

A análise destes resultados demostram que a forma da superfície de contato do deslizador influencia fortemente no resultado do coeficiente de atrito, levando a diferenças nas médias de 0,77 a 1,0, e variações de desvios padrão chegando a ordem de 0,02 a 0,11. Nota-se também que o tipo de deslizador utilizado provoca diferenças nos resultados. Durante os ensaios de desgaste, o deslizador tipo E, mostrou-se de menor dureza que os outros e seus resultados apresentaram maior desvio padrão, que serão melhor abordados no item material do deslizador.

Tabela 7.9 - Resultados obtidos dos ensaios com diferentes tipos de deslizadores

Tipo de deslizador	Antes		Depois	
	Média	S	Média	S
E	1,0461	0,0817	0,8009	0,0232
K	0,8297	0,0932	0,8788	0,0584
J	0,8742	0,1130	0,7739	0,1012

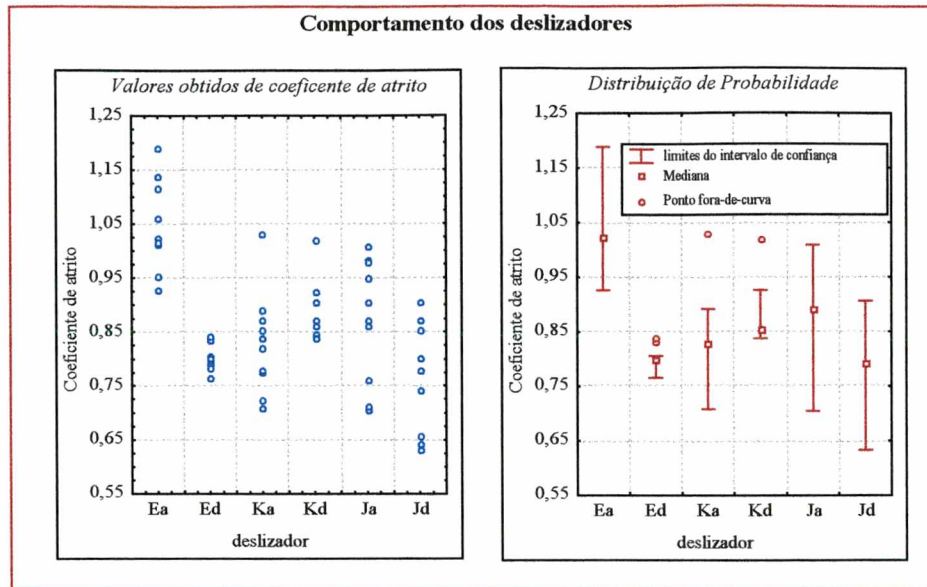


Figura 7.7 - Comportamento dos deslizadores em relação a forma e a planicidade.

Para estimar a influência da forma de contato do deslizador, calculou-se o desvio padrão da amostra separadamente para cada tipo de deslizador (E, K e J) antes e depois de proceder o desgaste. A média dos seis valores do desvio padrão obtido é uma estimativa para a repetitividade do sistema de medição ($S_{rep.}$), independente da geometria do deslizador. Em seguida para o deslizador "E" foi calculado o desvio padrão experimental para o conjunto de dados, onde estavam misturadas as indicações dos coeficiente de atrito antes e depois do desgaste da superfície, denominado de $S_{Ea/d}$. O mesmo foi repetido para os deslizadores K e J, levando $S_{Ka/d}$ e $S_{Ja/d}$ respectivamente. A média destes últimos três valores é uma estimativa do desvio padrão decorrente da ação combinada dos efeitos aleatórios da repetitividade do sistema de medição e da influência da geometria do deslizador, denominada de $S_{rep.+GM}$. Considerando-se estes efeitos como estatisticamente independentes, a regra da soma das variâncias pode ser aqui aplicada, isto é $S_{rep.+GM}^2 = S_{rep.}^2 + S_{GM}^2$, permitindo que o desvio associado à variação da geometria do material do deslizador possa ser estimado por $S_{GM} = \sqrt{(S_{rep.+GM}^2 - S_{rep.}^2)}$. O valor de $S_{rep.+GM}$ foi estimado a partir da média entre $S_{Ea/d}$, $S_{Ka/d}$ e $S_{Ja/d}$, sendo o valor 0,114. Portanto o desvio padrão experimental associado à influência da geometria do deslizador (S_{GD}) foi estimado como 0,083. Para a estimativa da influência correspondente ao tipo de textura introduzida na superfície de contato do deslizador, selecionou-se o deslizador K, onde realizou-se o desgaste da superfície de contato com a lixa 400 em uma única direção.

Observou-se o cuidado de manter a planicidade da superfície e colocou-se o deslizador no sistema de tal forma que o sentido das ranhuras da superfície do deslizador estivesse perpendicular (K_{rperp}) à direção do movimento e outro ensaio paralelamente (K_{rpl}) à direção do

movimento, sempre sobre a mesma posição da superfície de referência. Foram feitas cinco (n=5) medições e calculada a média e o desvio padrão para cada posição. Os resultados estão demonstrados na Tabela 7.10 e Figura 7.8.

Tabela 7.10 - Resultados obtidos da avaliação da influência da textura da superfície do deslizador.

Direção	Media	S
K_{rpl}	0,7209	0,0710
K_{rperp}	0,9082	0,0503

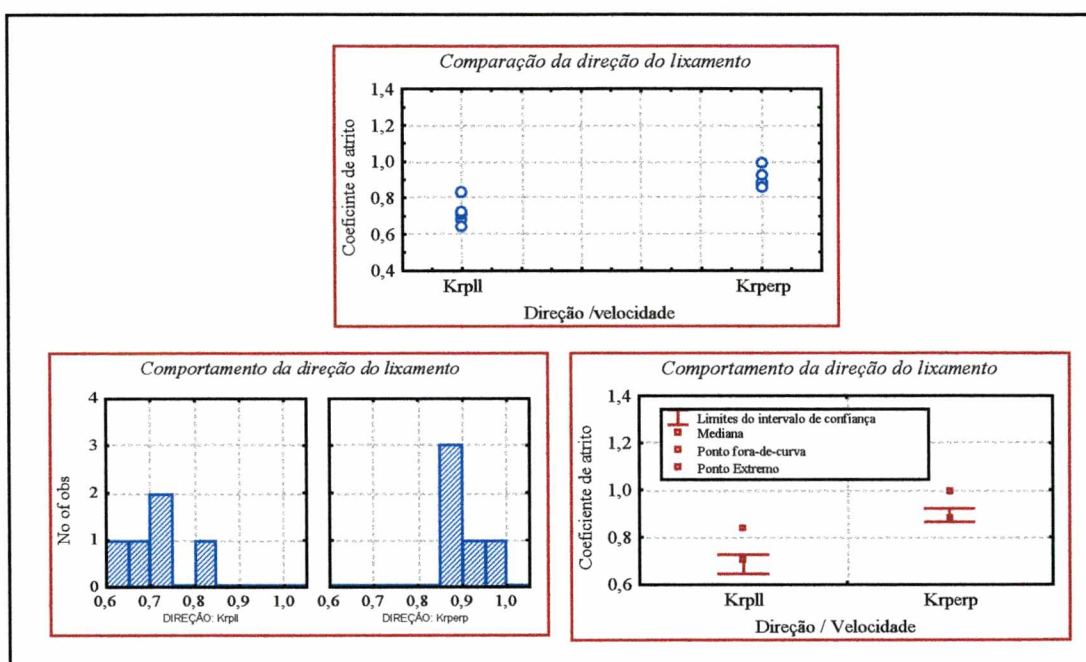


Figura 7.8 - Resultados obtidos para diferentes direções de lixamento do deslizador.

Os resultados indicam que o procedimento de preparação e limpeza do deslizador influencia nos resultados do coeficiente de atrito, sugerindo-se cuidados na sua preparação.

7.2.7. Material do deslizador

Em função do uso, o material do deslizador sofre desgaste e deve ser periodicamente substituído. Quando o tipo ou idade da borracha utilizada é diferente, verifica-se diferença de comportamento nos resultados das medições. Para estimar a influência destes fatores no desempenho do Tortus foram considerados:

- A influência da não uniformidade da superfície de referência de vidro;
- Dureza do deslizador;

- Homogeneidade do material do deslizador;
- Desgaste;
- Degradação do deslizador.

Entretanto, não foi possível estimar separadamente as influências de cada uma das fontes acima, mas os efeitos combinados, considerando condições muito próximas das de utilização. A influência da não uniformidade da superfície de referência de vidro não é propriamente uma fonte de incertezas na medição com o Tortus, mas elevaria a incerteza com que é estimada a influência do material do deslizador. Procurou-se realizar ensaios na mesma posição da placa de referência.

Os dados analisados foram obtidos a partir dos ensaios de desgaste dos deslizadores. Durante a preparação dos deslizadores para desgaste foi observada uma diferença na dureza dos deslizadores. Observou-se que durante o lixamento do deslizador tipo E, a fragmentação deu-se de maneira "mole ou dúctil", com a liberação de partículas de borracha. Para os demais deslizadores este comportamento não foi observado, mas verificou-se uma fragmentação na forma de pó, caracterizando-se como um material mais "duro ou frágil". A Figura 7.7, mostra o comportamento dos deslizadores após o desgaste, indicando diferenças nas dispersões dos resultados. Isto evidencia que deslizadores mais "duros" (tipo K e J), apresentam maiores dispersões, com destaque para o tipo J. O deslizador tipo E, considerado "mole" foi o que apresentou menor dispersão de resultados após o desgaste, consequentemente na incerteza do resultado. Estas características bem como a homogeneidade, e estabilidade com o tempo podem levar a resultados diferentes, quando interagir com o mensurando em questão.

A análise cuidadosa destes resultados mostra que a incerteza no coeficiente de atrito provocada pelas diferenças nas propriedades dos materiais dos deslizadores pode levar a valores da ordem de 0,113 para a incerteza padrão.

7.2.8. Procedimento de medição

Para que possa ser devidamente caracterizada a confiabilidade metrológica de um processo de medição devem ser levados em consideração, além das características dos sistema de medição também os procedimentos de medição, ou seja, as estratégias adotadas para coletar e processar os dados obtidos. Assim, aspectos como: o número de medições realizadas; os procedimentos estatísticos de estimativa do resultado da medição; a(s) direção(ões) adotada(s) sobre a superfície do mensurando em posições diferentes para a medição do coeficiente de atrito, têm influência no resultado da medição.

É necessário não confundir as variações encontradas nas indicações do Tortus provocadas pelas fontes de incerteza até então estudadas, das variações provocadas pela própria natureza da superfície do piso medido, cujo coeficiente de atrito não é perfeitamente uniforme. Para avaliar a qualidade do sistema de medição apenas o primeiro grupo é importante. Para chegar a um resultado que represente a faixa de valores que possa ser razoavelmente atribuída ao coeficiente de atrito, ambos os grupos devem ser considerados. O procedimento de medição do piso afeta mais fortemente o segundo grupo e será tratado em detalhes no item 7.5.

A norma recomenda um mínimo de três medições para a determinação do coeficiente de atrito. Para fins de comparação, alguns ensaios efetuados neste trabalho envolveram mais de 10 medições.

7.2.9. Fatores ambientais.

Medições do coeficiente de atrito freqüentemente realizam-se sobre superfícies em uso: uma calçada, um pátio ou em ambientes fechados. Nestas situações o meio ambiente atua diretamente sobre a superfície e pode influenciar na medição do coeficiente de atrito. Assim, devem ser levados em conta fatores como: a temperatura, que pode alterar as características do deslizador de borracha; a umidade que atua na interface do deslizador e contaminações da superfície a medir por partículas que alteram as características do deslizamento da borracha sobre a superfície. No âmbito deste trabalho não foi possível realizar experimentos isolando cada um destes fatores.

A contaminação da superfície poderia levar a resultados muito diferentes dependendo do tipo e quantidade de partículas envolvidas, ficando sem sentido encontrar um número. Assume-se que o piso ensaiado estará livre de partículas.

A temperatura da superfície ensaiada é um fator relevante que pode alterar as características da borracha do deslizador e modificar a indicação do coeficiente de atrito dinâmico. Por falta de recursos experimentais não foram conduzidas avaliações da influência desta variável. Assim, as conclusões deste trabalho só são válidas para ambientes com temperatura controlada, sem a incidência direta da radiação solar.

Experimentalmente avaliou-se apenas os efeitos da contaminação por umidade, prevista na norma ABNT 10545. Para efeito de avaliação chamou-se de condição molhada àquela onde, através de uma solução tenso ativa a base de sódio e água destilada, banhou-se a superfície de referência de vidro temperado para os ensaios. Os resultados são mostrados na Tabela 7.11 e Figura 7.9.

Tabela 7.11 - Resultados de ensaios realizados na condição molhada em diferentes posições sobre a placa de vidro.

Posição	Média	S
K _I	0,3252	0,019
K _{II}	0,3192	0,028
K _{III}	0,3048	0,009

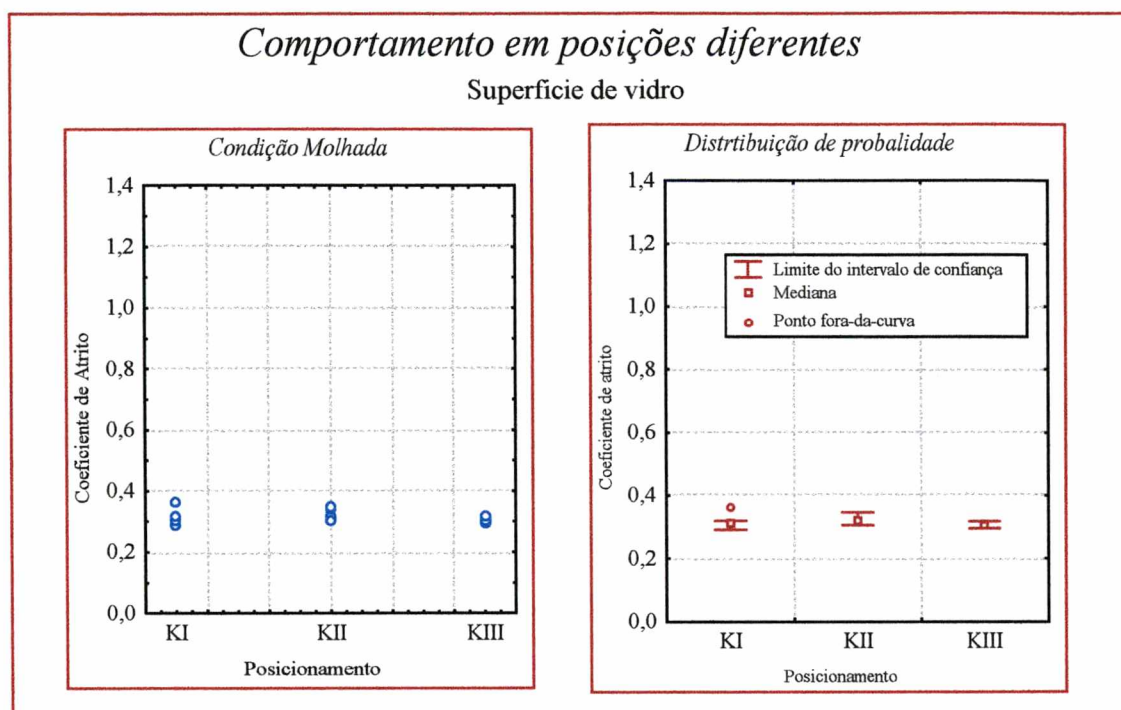


Figura 7.9 - Variação do coeficiente de atrito sobre a placa de vidro na condição molhada.

Os resultados obtidos chamam a atenção para dois aspectos: a redução considerável do coeficiente de atrito de 0,87 na condição seca para 0,32 na condição molhada, o que era previsível. A redução do desvio padrão resultante é igualmente notável, sendo da ordem média de cinco vezes menor que na condição a seco. Este resultado indica que, para este tipo de superfície, há uma forte influência do contaminante sobre o valor do coeficiente de atrito e a influência de posicionamento sobre a superfície é sensivelmente reduzida em relação à condição a seco. Portanto, o ensaio realizado na condição molhada reduz a dispersão da medição.

A repetitividade do sistema Tortus na condição molhada está associada uma incerteza padrão típica de 0,019, determinada com 13 graus de liberdade.

Pela ordem de grandeza das variações é necessário tratar em separado os resultados de ensaios realizados a seco dos realizados na condição molhada. Nos ensaios a seco deve-se

certificar que a superfície ensaiada esteja completamente seca, sem gotículas d' água ou de outro contaminante.

7.2.10. Características superficiais dos pisos

A superfície ensaiada deve estar regularmente limpa para que o ensaio possa ser realizado em boas condições e as variações encontradas reflitam apenas as características do piso e não as irregularidades da limpeza. Esta fonte de incerteza já esteve indiretamente embutida em todos os ensaios efetuados sobre a superfície de vidro de referência, uma vez que o procedimento de limpeza efetuado foi o procedimento comum. A contribuição desta fonte de incertezas não será então quantificada separadamente.

A não homogeneidade da superfície do piso é uma característica do mensurando e não uma resultante das imperfeições do Tortus. A não homogeneidade provoca variações nas indicações mas estas devem ser tratadas de formas distintas, como será visto no item 7.5.

Como discutido no item anterior, há necessidade de caracterizar separadamente os resultados para ensaios a seco e na condição molhada.

7.3. Estimativa da incerteza combinada

Os fatores sistemáticos e aleatórios de cada uma das fontes de incertezas analisadas individualmente no item 7.2 devem ser combinados para que a incerteza do sistema Tortus seja corretamente avaliada.

Como as componentes sistemáticas são conhecidas apenas para o medidor analógico da força de atrito e para a placa de aquisição de sinais, as incertezas destas duas contribuições serão inicialmente combinadas, levando-se em conta que nas condições normais de uso não serão compensados os efeitos sistemáticos. Nestas condições, estimou-se o erro máximo (E_{\max}) do sistema de medição da força de atrito, no intervalo de 0 a 1,5 como mostra Tabela 7.12 e Figura 7.10. Este intervalo foi selecionado em função deste abranger quase a totalidade das medições de coeficientes de atrito realizadas neste trabalho. A combinação dos resultados e as respectivas incertezas expandidas são mostradas na Tabela 7.12. Desta forma, estimou-se o erro máximo (E_{\max}) combinado do sistema de medição de forças/placa de aquisição de $(0,044+0,035)=0,079$ para a faixa de 0 a 1,5 do coeficiente de atrito, a estimativa da repetitividade (S_{rep}) é $0,0785/\sqrt{10} = 0,0248$.

Para uma primeira estimativa da incerteza expandida do processo de medição realizou-se o balanço de incerteza, considerando-se o número de indicações dos ensaios realizados e com os valores obtidos determinados anteriormente, e estimou-se o balanço de incertezas, mostrados na Tabela 7.14.

Tabela 7.12 - Resultado da combinação para Tortus A

Faixa de medição 0~1			Faixa de medição 0~3		
Coef. Atr. Conv.	Correção	U _{95%}	Coef. Atr. Conv.	Correção	U _{95%}
0,10	-0,024	-	0,30	-	-
0,20	-0,015	-	0,60	-0,029	0,035
0,30	-0,007	0,012	0,90	-0,005	-
0,40	0,002	-	1,20	0,020	-
0,50	0,011	0,010	1,50	0,044	0,035
0,60	0,020	-	1,80	0,068	-
0,70	0,028	-	2,10	0,092	-
0,80	0,037	0,007	2,40	0,116	0,035
0,90	0,046	-	2,70	-	-
1,00	0,055	-	3,00	-	-

Curva resultante de calibração
TORTUS A

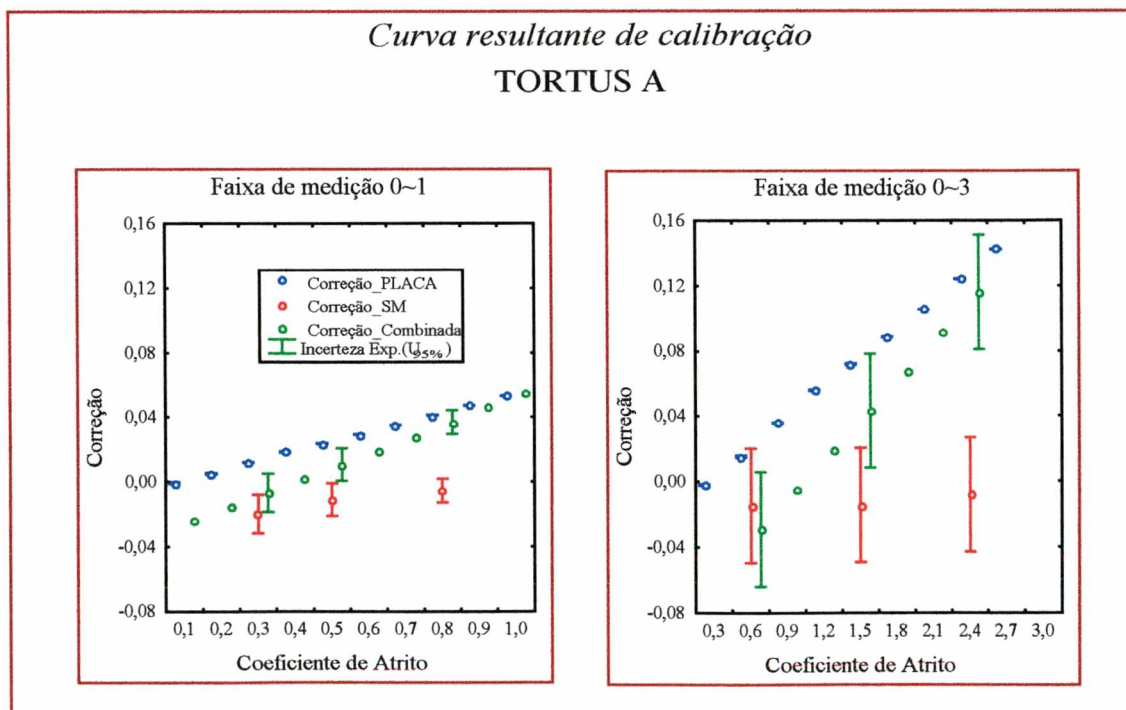


Figura 7.10 - Resultante da calibração do Tortus A

Tabela 7.13 - Resultados das incertezas padrão para as fontes de incerteza tipo A

Fontes tipo A	S(q)	n
I_{GD}	0,0825	60
I_{MD}	0,0526	30
$I_{TEX.}$	0,0971	10

Tabela 7.14 - Balanço de incerteza típica do sistema Tortus na condição a seco em superfície lisa (vidro temperado)

Sensor K; escala 0~3, condição seca; mesma posição						
MI = 0,879						
Componentes de incerteza		Aleatório				
grandeza	descrição	val bruto	Dist. Prob.	divisor	incerteza	v_i
u_a	Repetitividade (Tipo A)	0,0248	normal	1	0,0248	54
$E_{max.}$	Erro max. da calibração	0,0790	retangular	$\sqrt{3}$	0,0456	inf.
$E_{reg.}$	Erro de regulagens	0,0344	retangular	$\sqrt{3}$	0,0199	inf.
I_{GD}	Forma do Deslizador	0,0825	normal	1	0,0825	20,6
I_{MD}	Material Deslizador	0,0526	normal	1	0,0526	14,5
$I_{TEX.}$	Textura do deslizador	0,0971	normal	1	0,0971	5,1
C_c	Correção combinada					
u_c	Incerteza combinada		normal		0,149	24,196
$U_{95\%}$	Incerteza expandida		2,13		0,317	

A estimativa da incerteza padrão combinada, encontrada para o processo de medição a seco sobre uma mesma posição na superfície de referência de vidro é 0,149, para o intervalo de medição de 0 a 1,5 e de incerteza expandida de 0,317, com intervalo de confiança de 95%.

Para estimar as incertezas na condição molhada o ideal seria repetir os mesmos ensaios realizados na condição a seco. Como não se dispõe destes dados, considerou-se, para o balanço de incerteza, uma hipótese, razoável, mas não comprovada, de que há redução das influências das fontes de incerteza (I_{GD} ; I_{MD} ; $I_{TEX.}$) na mesma proporção da redução verificada na repetitividade da condição seca para molhada. O fator estimado de redução é de 5,58 e a nova estimativa da incerteza combinada para o sistema de medição na condição molhada, é de 0,056, reduzindo-se consideravelmente como mostra a Tabela 7.15.

Tabela 7.15 - Balanço de incertezas típico para o sistema de medição Tortus na condição molhada em superfície lisa (vidro temperado).

Sensor K; escala 0~3, condição molhada; mesma posição						
MI = 0,316						
Componentes de incerteza		Aleatório				
grandeza	descrição	val bruto	Dist. Prob.	divisor	incerteza	ν_i
u_a	Repetitividade (Tipo A)	0,0081	normal	1	0,0081	54
E_{\max}	Erro max. da calibração	0,0790	retangular	$\sqrt{3}$	0,0456	inf.
E_{reg}	Erro de regulagens	0,0344	retangular	$\sqrt{3}$	0,0199	inf.
I_{GD}	Forma do Deslizador	0,0148	normal	1	0,0148	20,634
I_{MD}	Material Deslizador	0,0094	normal	1	0,0094	14,549
I_{TEX}	Textura do deslizador	0,0174	normal	1	0,0174	5,112
C_c	Correção combinada					
u_c	Incerteza combinada		normal		0,056	477,8
$U_{95\%}$	Incerteza expandida		2,01		0,113	

Para que estes resultados possam ser transportados para a determinação do coeficiente de atrito em superfícies cerâmicas, algumas considerações devem ser efetuadas. A experiência mostra que a repetitividade do Tortus é fortemente dependente das características da superfície analisada. O valor estimado para o vidro não deve ser usado, assim a fonte de incertezas “repetitividade” (tanto para a condição seca quanto molhada) foi removida do balanço de incertezas. Este parâmetro deverá ser recalculado para cada superfície avaliada e posteriormente combinado aos demais. Desse modo, sem a repetitividade, obtém-se a incerteza combinada de 0,147, como mostra a Tabela 7.16. Para a condição molhada a estimativa da incerteza combinada é de 0,056, apresentando uma redução à 38%, da incerteza combinada a seco.

Tabela 7.16 - Balanço de incerteza do sistema de medição na condição seca

Sensor K; escala 0~3, condição seca						
Componentes de incerteza		Aleatório				
grandeza	descrição	val bruto	Dist. Prob.	divisor	incerteza	ν_i
E_{\max}	Erro max. da calibração	0,0790	retangular	$\sqrt{3}$	0,0456	inf.
E_{reg}	Erro de regulagens	0,0344	retangular	$\sqrt{3}$	0,0199	inf.
I_{GD}	Forma do Deslizador	0,0825	normal	1	0,0825	20,634
I_{MD}	Material Deslizador	0,0526	normal	1	0,0526	14,549
I_{TEX}	Textura do deslizador	0,0971	normal	1	0,0971	5,1
C_c	Correção combinada					
u_c	Incerteza combinada		normal		0,147	22,874
$U_{95\%}$	Incerteza expandida		2,13		0,312	

Considerando-se estes valores como incerteza do sistema de medição, realizou-se medições para o vidro em diferentes posições, tanto na condição molhada como na condição seca e os resultados são mostrados na Tabela 7.17. O resultados para a incerteza combinada para a superfície de vidro é de 0,192 na condição seca e de 0,060 na condição molhada, e incerteza expandida de 0,388 e 0,119 respectivamente, com intervalo de confiança de 95%.

Tabela 7.17 - Resultado da medição sobre o vidro

Condição seca						
sistema	Tortus A deslizador K	0,312	normal	2	0,156	inf.
vidro	posicionamento	0,112	normal	1	0,112	14
u_c	Incerteza combinada				0,192	121,709
$U_{95\%}$	Incerteza expandida		2,02		0,388	
Condição molhada						
sistema	Tortus A deslizador K	0,112	normal	2	0,056	inf.
vidro	posicionamento	0,021	normal	1	0,021	14
u_c	Incerteza combinada				0,060	938,953
$U_{95\%}$	Incerteza expandida		2		0,119	

As fontes de incerteza; geometria, material e textura do deslizador para efeito de cálculo no balanço de incerteza do sistema de medição, na condição molhada, estimou-se reduções de desvios da ordem de 62%, fontes estas que também sofrem influência e são afetados pela contaminação favorecendo uma redução dos desvios experimentais.

Comparou-se a incerteza combinada do sistema de medição com o resultado da medição da superfície do vidro e os resultados são mostrados nas Figura 7.11 e Figura 7.12.

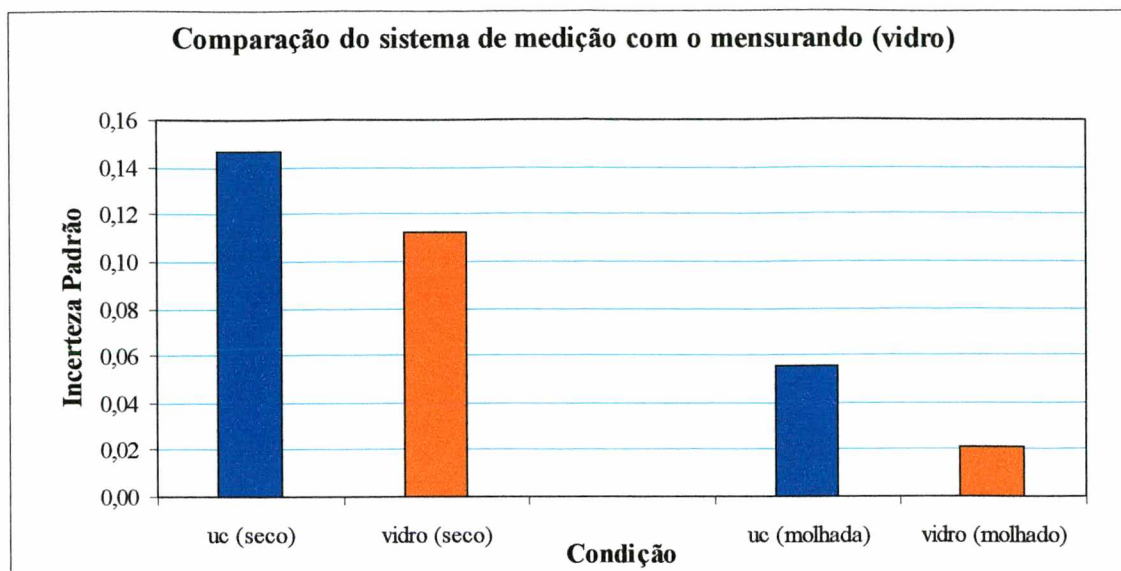


Figura 7.11 - Resultado da incerteza do sistema de medição e o mensurando variável (vidro).

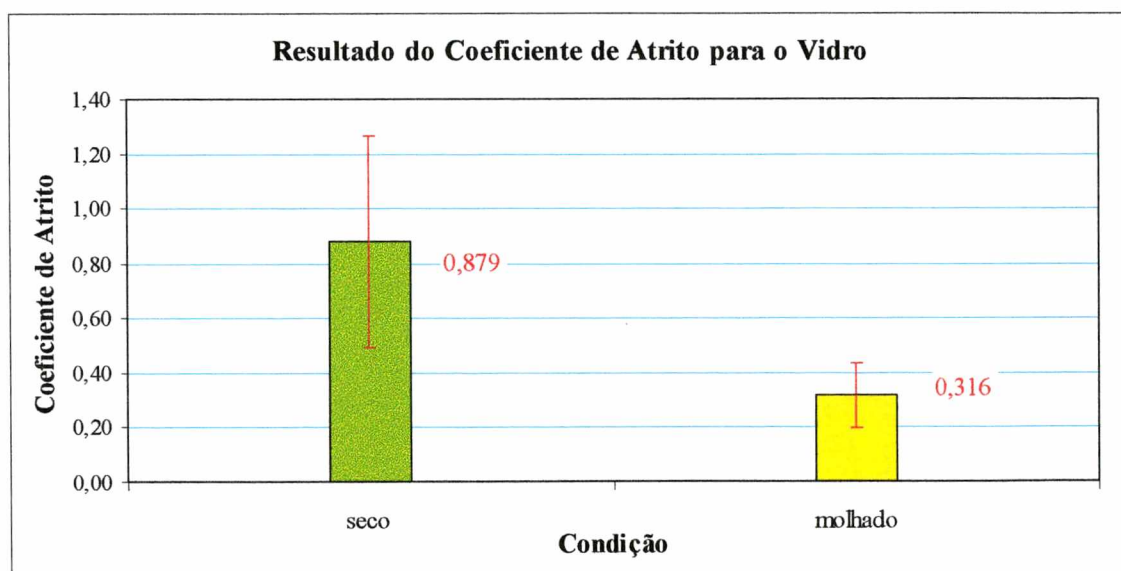


Figura 7.12 - Resultado da medição da superfície de vidro

Estes resultados mostram que a incerteza, para a condição seca é maior que a condição molhada, e que a incerteza associada ao sistema de medição também é maior que o mensurando em ambas condições.

7.3.1. Análise comparativa dos sistemas Tortus

Durante a realização deste trabalho, foi possível levantar algumas informações sobre o desempenho de um segundo sistema Tortus, também fabricado pela Seven Science Ltda, modelo Tortus, número de série 141, aqui simplesmente denominado de Tortus B. Infelizmente

modelo Tortus, número de série 141, aqui simplesmente denominado de Tortus B. Infelizmente não houve condições de efetuar neste segundo sistema uma análise tão detalhada como no primeiro, mas algumas das análises foram repetidas e os resultados obtidos são aqui comparados com os do primeiro.

Utilizou-se para o medidor de força os mesmos procedimentos de calibração como utilizado para o sistema anterior (Tortus A), porém realizou-se à seis níveis e seis indicações por nível.

Tabela 7.18- Resultados de calibração para Tortus B, escala 0~1.

Coef. de Atrito Conv.	Correção medidor de força	S	Correção da placa	S	Correção Combinada	U _{95%}
0,10	-	-	0,051	0,000525	-	-
0,20	-	-	0,059	0,000434	-	-
0,30	-0,0872	0,008853	0,067	0,000204	-0,00436	0,010718
0,40	-0,09645	0,011118	0,075	0,000294	-0,00258	0,012602
0,50	-0,1	0,01173	0,083	0,00025	-0,0008	0,013347
0,60	-0,10642	0,013958	0,091	0,000137	0,00098	0,015686
0,70	-0,11372	0,014078	0,099	2,42E-05	0,00276	0,015786
0,80	-0,1212	0,014302	0,1065	0,000195	0,00454	0,015974
0,90	-0,12433	0,017826	0,115	0,000309	0,00632	0,019485
1,00	-0,131	0,020736	0,1225	0,000139	0,0081	0,022958

Tabela 7.19- Resultados de calibração para Tortus B, escala 0~3.

Coef. De Atrito Conv.	Correção Medidor de força	S	Correção da placa	S	Correção Combinada	U _{95%}
0,30	-0,218	0,006	0,177	0,002	-0,033	0,035
0,60	-0,249	0,009	0,201	0,001	-0,043	0,035
0,90	-0,278	0,011	0,225	0,001	-0,048	0,035
1,20	-0,307	0,011	0,249	0,001	-0,049	0,035
1,50	-0,332	0,015	0,273	0,001	-0,047	0,035
1,80	-0,345	0,011	0,297	0,000	-0,041	0,035
2,10	-0,357	0,010	0,320	0,000	-0,034	0,035
2,40	-0,379	0,005	0,345	0,001	-0,025	0,035
2,70	-0,393	0,009	0,368	0,001	-0,016	0,035
3,00	-0,406	0,010	0,392	0,000	-0,008	0,035

Para a avaliação da placa e software, também foram utilizados os mesmos procedimentos de calibração aplicados ao Tortus A, e demonstrados na Tabela 7.18 e Tabela 7.19.

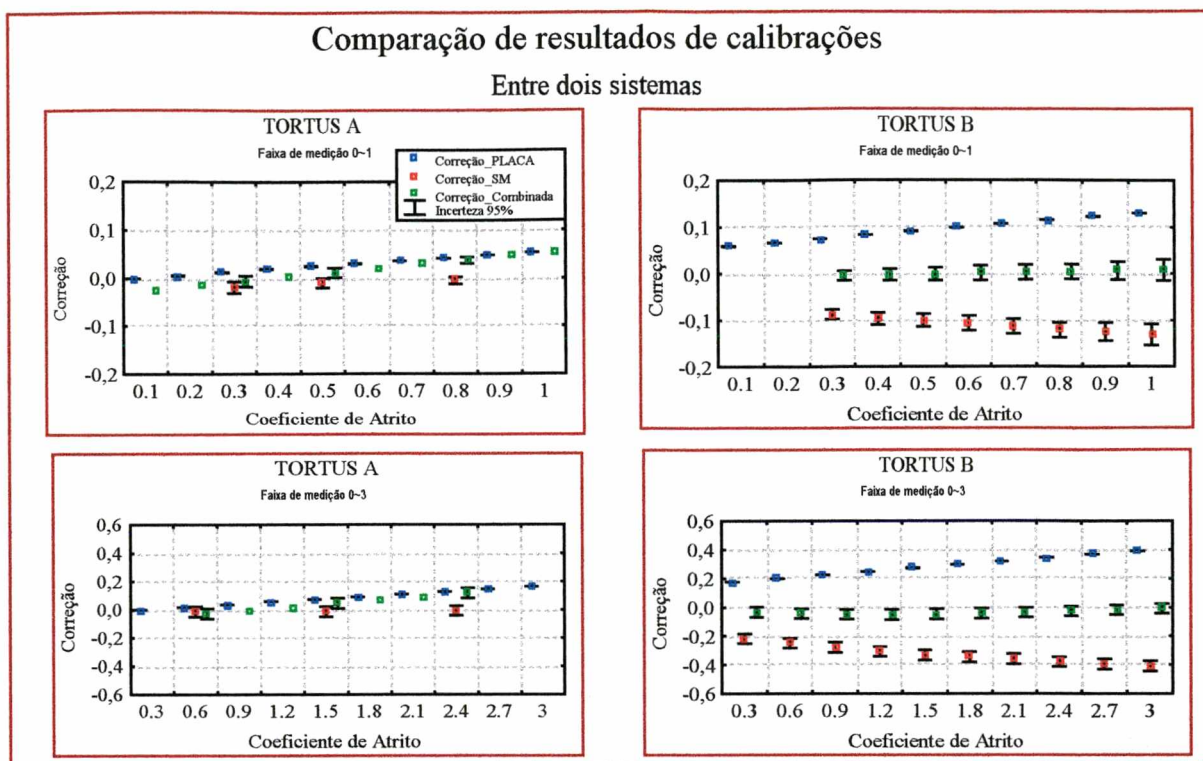


Figura 7.13 - Comparação dos resultados das calibrações para os dois sistemas: Tortus A e B.

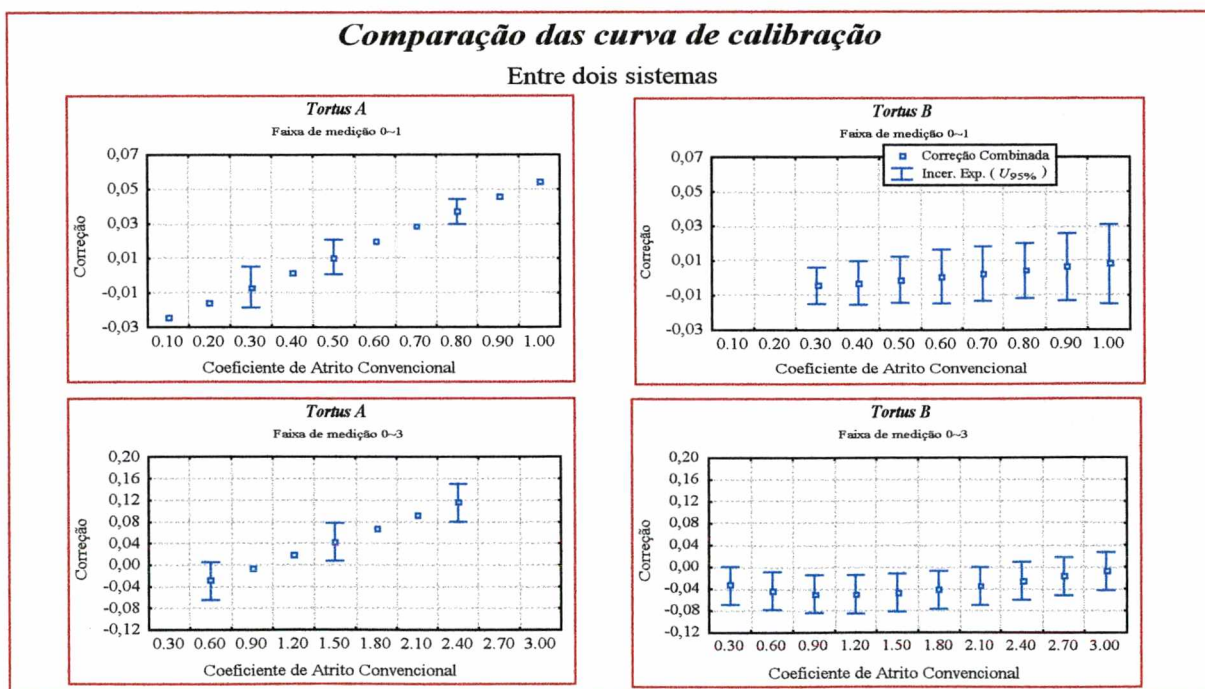


Figura 7.14 - Curva resultante da calibração dos sistemas A e B

Os resultados da calibração dos dois sistemas (A e B), possuem características diferentes: onde o Tortus B apresentou erros sistemáticos maiores que o Tortus A, (Figura 7.13). No entanto, apesar desta aparente diferença, o resultado da calibração demonstra que o Tortus B possui erro máximo de 0,084 para o intervalo de 0 a 1,5 ou da faixa de medição de 0~3. Notadamente o sistema Tortus B, está melhor ajustado ao longo da escala 0~3, em relação ao Tortus A, que apresentou erro máximo de 0,154 para a mesma escala (Figura 7.14).

Apesar desta diferença do sistema integrado na calibração, ambos sistemas apresentam comportamento similar nas demais fontes de incerteza.

7.4. Ensaio de verificação das variações de características de pisos comerciais

Sabe-se que as propriedades dos pisos de uso comercial podem sofrer variações consideráveis de lote para lote, peça para peça e mesmo ao longo de uma mesma peça, dependendo da direção e posição em que o ensaio foi efetuado. Pretende-se aqui efetuar uma série de ensaios que revelem as faixas típicas de variação das propriedades dos pisos. Ao ser comparadas com as incertezas estimadas para o sistema Tortus é possível analisar sua adequabilidade para quantificar coeficientes de atrito de pisos cerâmicos.

As variações das propriedades da superfície do piso decorrem do seu processo de manufatura. Estas propriedades estão relacionadas com o tipo e características da superfície do produto acabado, seja esta obtida através da introdução de partículas ou através de modificação do relevo para resultar em maior resistência ao escorregamento sobre a superfície cerâmica. Inevitavelmente são introduzidas variações das características, resultando em não homogeneidades da resistência ao escorregamento e do coeficiente de atrito.

Para avaliar as variações do coeficiente de atrito em pisos foram selecionados seis pisos comerciais (Tabela 7.20) nos quais foram realizados ensaios envolvendo medições repetitivas com o Tortus A e Tortus B. Foram selecionados pisos com tratamentos superficiais variados, peças polidas; com partículas granilhadas fundidas e não fundidas. Os ensaios foram realizados em condição, a seco e também molhada. Foram definidas três posições de medição (A,B,C) sendo efetuadas cinco medições em cada posição (direção 1). Posteriormente deu-se no piso um giro de 90 graus em sua orientação (direção 2), e realizou-se o mesmo procedimento. Calculou-se as médias (Tabela 7.21), o desvio padrão e a incerteza padrão correspondentes as medições sobre a superfície a seco como mostra na Tabela 7.22, e na condição molhada, mostrada na Tabela 7.23, utilizando-se o Tortus B. Posteriormente realizou-

se medições com o Tortus A na condição molhada, sendo os resultados mostrados na Figura 7.18.

Os resultados destas medições, mostradas nas Figura 7.16 e Figura 7.17, indicam que há consideráveis diferenças nas dispersões dos resultados (desvio padrão) de um piso para outro na condição (seca), ou seja, o Tortus é capaz de registrar as não homogeneidades do piso no ensaio a seco. Por outro, lado ao submeter-se os pisos cerâmicos na condição molhada, o desvio padrão reduziu-se significativamente (Figura 7.17), o que confirma os resultados obtidos na superfície de referência de vidro.

Tabela 7.20- Pisos comerciais selecionados para ensaio

Códigos das amostras	Tipo Comercial
GPP	Grés Porcelanato Polido
GPN	Grés Porcelanato Natural
PGF	Piso Granilha Fundida
PGU	Piso Granilha Uniforme
PGFL	Piso com Granilha Tipo Lixa
PGFL1	Piso com Granilha Fundida Tipo 1

Tabela 7.21- Resultados comparativos das médias a seco e molhado para dois sistemas.

	Tortus A			Tortus B		
	Seco	Molhado	$\Delta(\%)$	Seco	Molhado	$\Delta(\%)$
GPP	1,1649	0,2684	76,96	0,8310	0,3935	52,65
GPN	0,6887	0,5753	16,47	0,7842	0,4676	40,37
PGF	0,5300	0,2684	49,36	0,6150	0,2219	63,92
PGU	0,7803	0,7055	9,90	0,8704	0,6369	26,83
PGFL	0,8595	0,8001	6,91	1,0220	0,7050	31,02
PGFL1	0,9523	0,8522	10,51	1,0400	0,8112	22,00

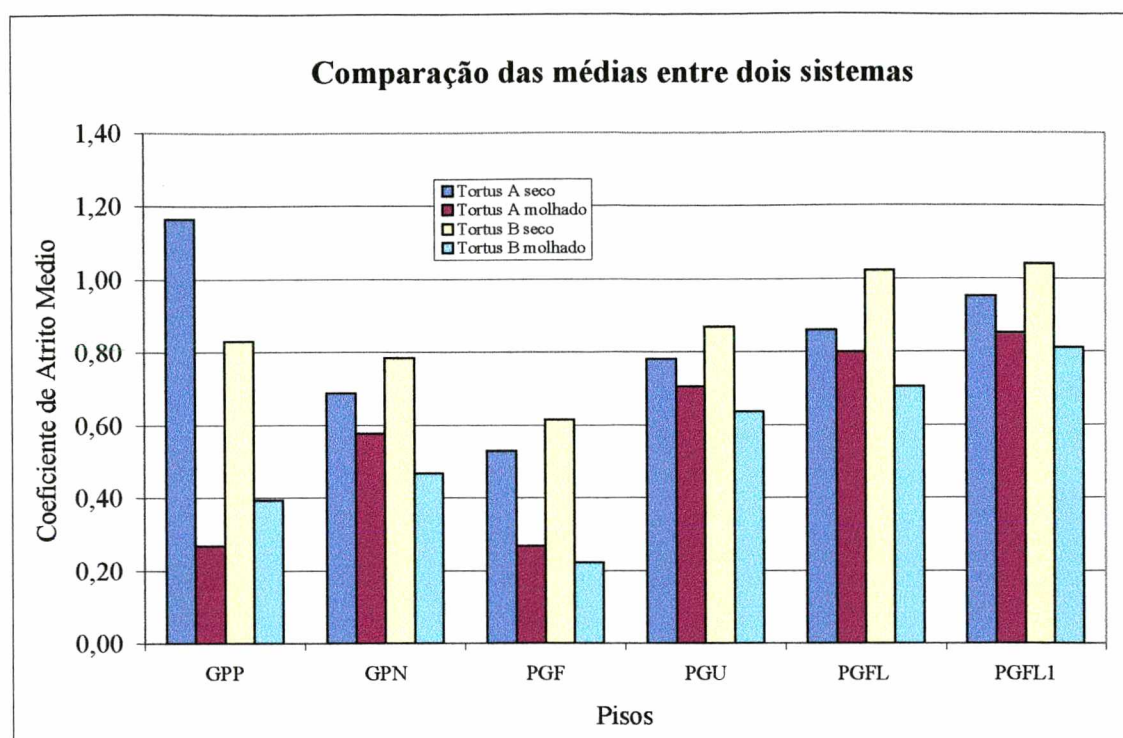


Figura 7.15 - Comparação das médias obtidas dos pisos cerâmicos

Tabela 7.22 - Resultado da média e desvio padrão para condição a seco. (Tortus B)

Direção	1		2		S_{total}
	media	S_1	Media	S_2	
GPP	0,7321	0,0319	0,8904	0,1417	0,1368
GPN	0,7903	0,0234	0,7781	0,0768	0,0561
PGF	0,6152	0,0190	0,6149	0,0158	0,0343
PGU	0,8667	0,0208	0,8759	0,0252	0,0561
PGFL	1,0430	0,2033	0,9978	0,1280	0,0984
PGFL1	1,0444	0,0121	1,0356	0,0221	0,0174

Tabela 7.23 - Resultado da média e desvio o padrão para condição molhada (Tortus B)

Direção	1		2		S_{total}
	Media	S_1	Media	S_2	
GPP	0,389	0,023	0,398	0,013	0,019
GPN	0,496	0,024	0,436	0,019	0,027
PGF	0,237	0,024	0,207	0,017	0,029
PGU	0,640	0,015	0,633	0,018	0,021
PGFL	0,700	0,032	0,710	0,031	0,031
PGFL1	0,818	0,040	0,776	0,023	0,041

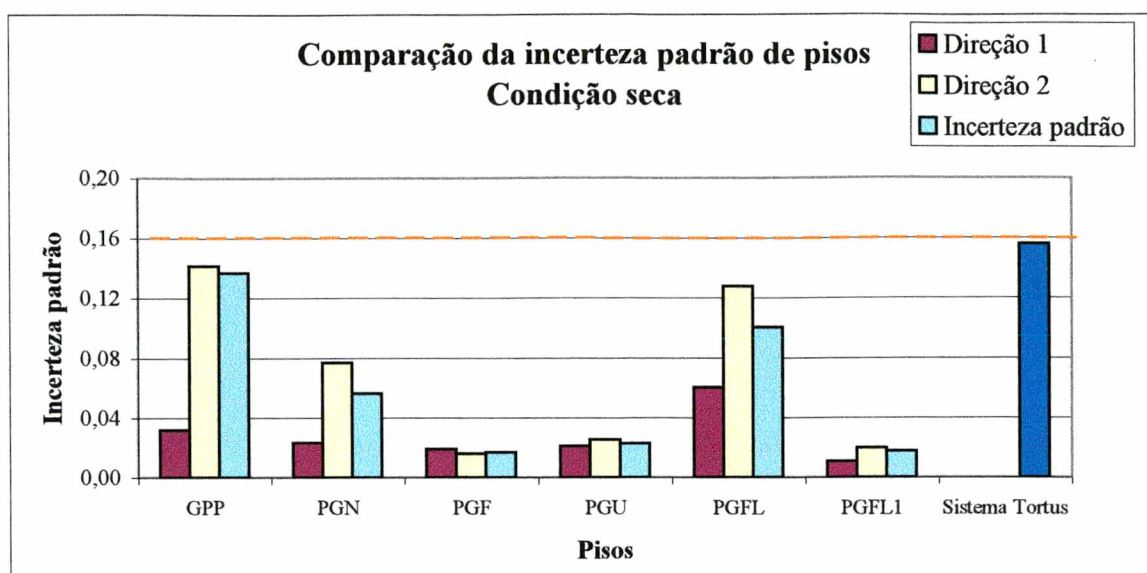


Figura 7.16 - Variação do desvio padrão experimental na condição seca (Tortus B)

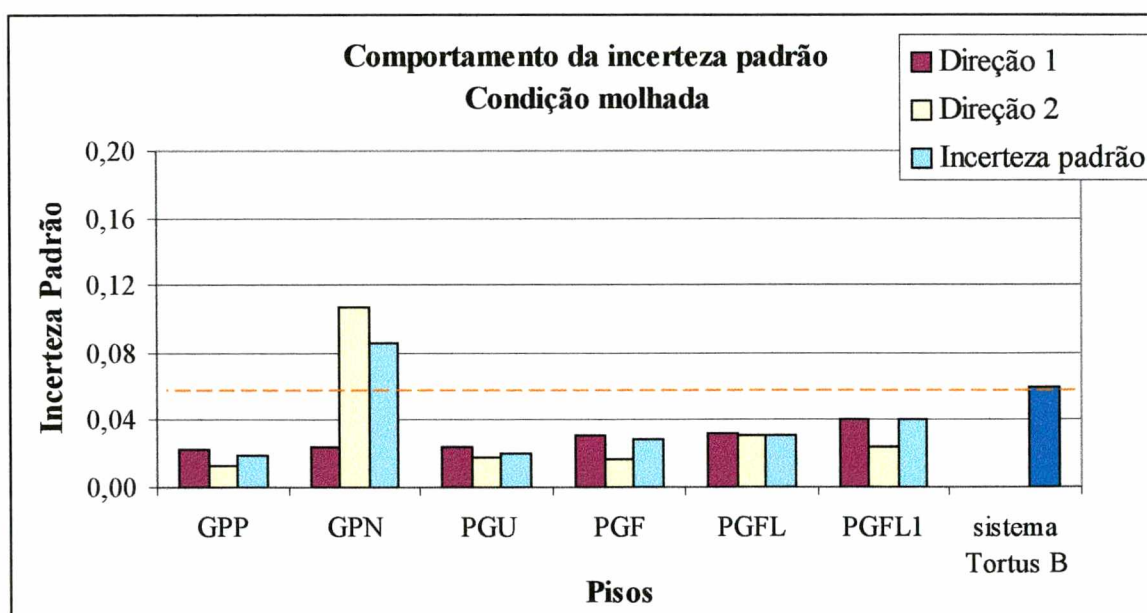


Figura 7.17 - Variação do desvio padrão na condição molhada para os pisos (Tortus B).

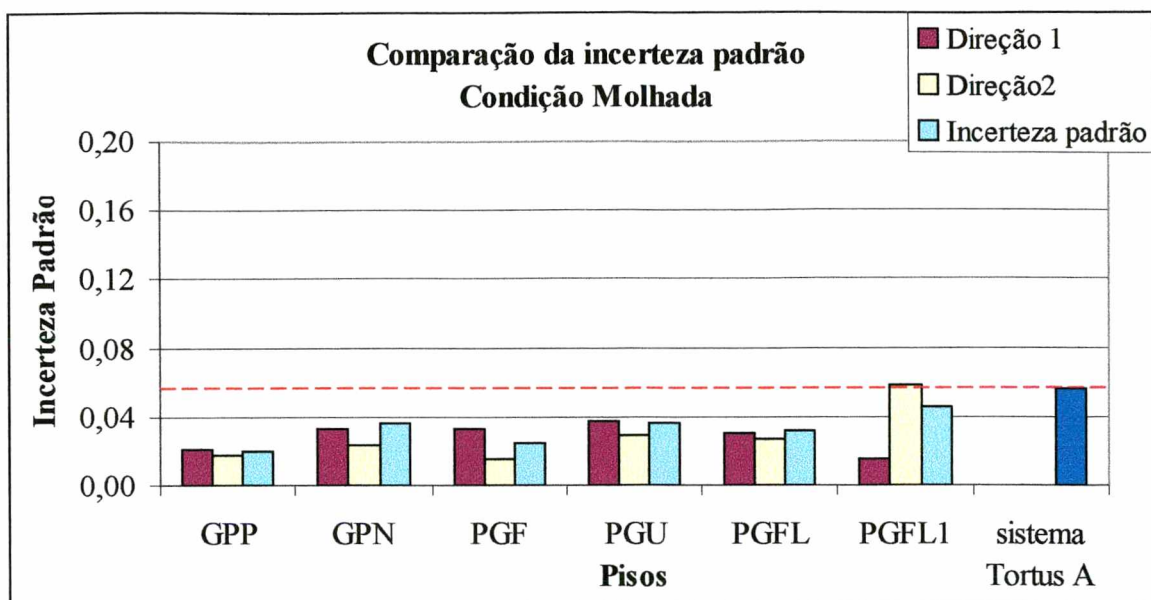


Figura 7.18 - Variação do desvio padrão para pisos selecionados em condição molhada

Os resultados do desvio padrão dos pisos cerâmicos na condição seca mostram que ocorre variação tanto na direção 1 como na direção 2 da superfície, dando indícios de ser este um mensurando variável (Figura 7.16).

A comparação da incerteza padrão dos sistemas de medição (Totus A e Tortus B), representada em linha tracejada nas Figura 7.16; Figura 7.17 e Figura 7.18, com os desvios padrão para os pisos cerâmicos mostra que, tanto para a condição seca como para a condição molhada, a incerteza do sistema Tortus é dominante sobre a incerteza de medição do mensurando, elevando a incerteza excessivamente.

Dentro das faixas de incerteza estimadas, os resultados das medições dos coeficientes de atrito dos pisos comerciais ensaiados, com os dois sistemas Tortus em condições iguais (seca ou molhada), são resultados compartilhados devido à existência de uma faixa de probabilidade, onde pode-se encontrar o valor do coeficiente de atrito em ambos sistemas de medição. Nota-se pela Figura 7.19 que os resultados do Tortus B possuem menor incerteza expandida que o Tortus A, justificado pela diferença da calibração do medidor de força de atrito. E, no Tortus B encontra-se um erro máximo de calibração de 0,031, enquanto que para o Tortus A, o erro é de 0,079.

Durante os ensaios observou-se o desgaste dos deslizadores, para os pisos com a superfície granilhada, alterando suas características quanto a forma e textura. Este efeito, que ocorre nas superfícies abrasivas deve ser melhor estudado, bem como suas influências sobre o resultado de medição.

Resultado dos coeficientes de atrito de pisos cerâmicos

Tortus A; escala 0~3 e Tortus B; escala 0~1

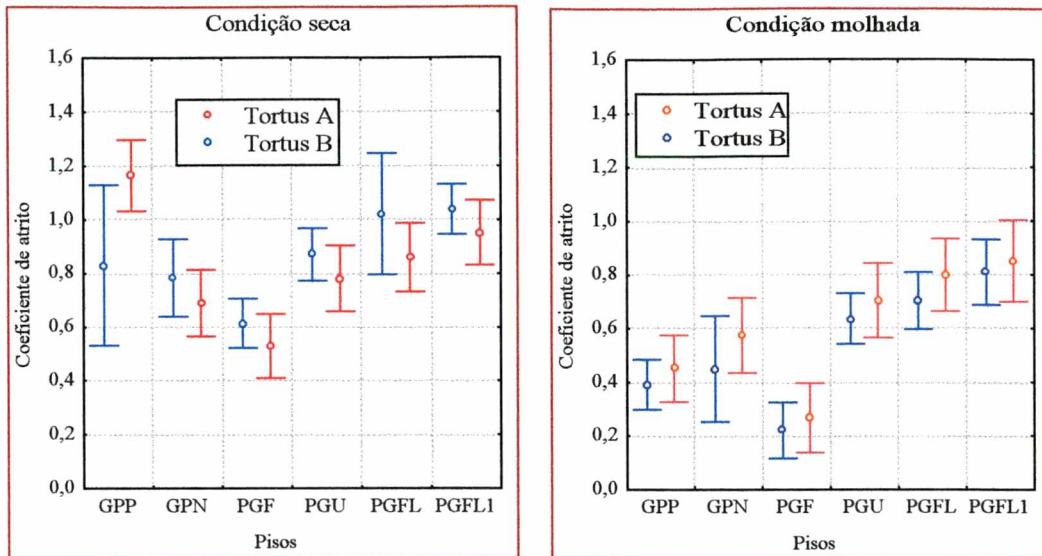


Figura 7.19 - Resultados do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos

8. Discussões e recomendações

Os resultados apresentados na Tabela 7.7, obtidos a partir de medições periódicas, realizadas sobre uma mesma superfície de vidro, tida como homogênea, mostram que se não forem tomados alguns cuidados, as variações dos coeficientes de atrito encontradas para a mesma superfície podem ser absurdamente grandes. Neste capítulo são apresentadas análises sobre as influências das várias fontes de incertezas avaliadas e recomendações de como minimizar as respectivas influências sobre a medição do coeficiente de atrito com o Tortus.

8.1. Comparação relativa entre as fontes de incerteza

Avaliando-se as estimativas das fontes de incerteza no processo de medição em condição seca e em superfície lisa, através da Tabela 7.16, pode-se construir o gráfico comparativo mostrado na Figura 8.1.

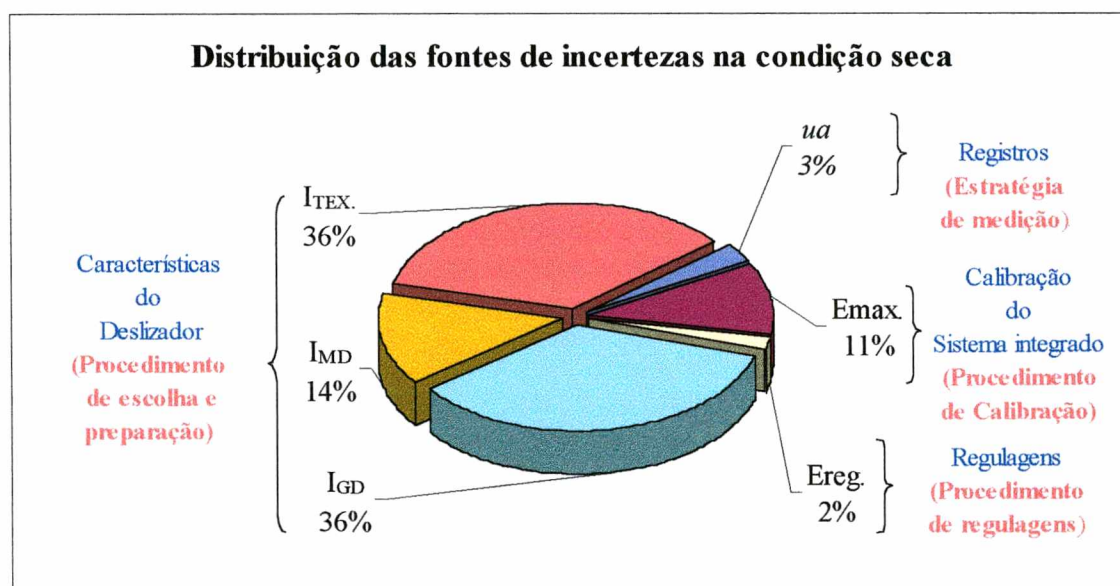


Figura 8.1 - Proporção entre as fontes de incerteza do processo de medição com o sistema Tortus a seco e em superfície lisa.

Este gráfico mostra que para esta condição, as maiores influências correspondem ao tipo de material selecionado, preparação do deslizador, gerando uma porcentagem de 86% sobre a incerteza combinada, além da incerteza expandida ser da ordem de 0,312, seguramente elevada para este processo de medição.

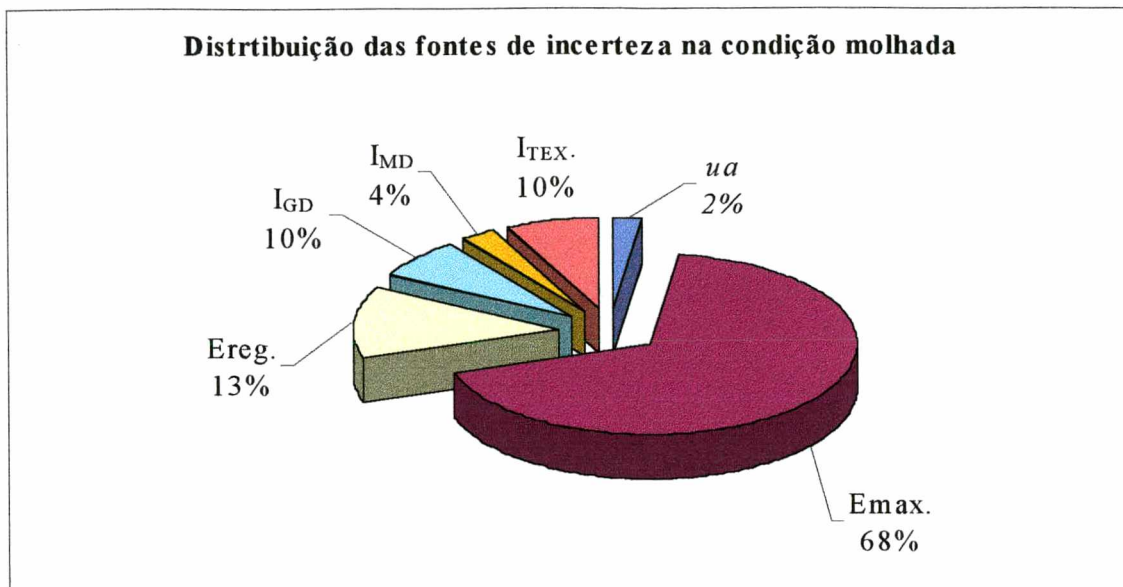


Figura 8.2 - Distribuição das fontes de incerteza do processo

de medição com o sistema Tortus para a condição molhada e em superfície lisa.

Na condição molhada a maior influência corresponde ao processo de calibração do sistema de medição da força de atrito, com aproximadamente 68% de influência para uma incerteza combinada de 0,056, equivalente a 0,11 de incerteza expandida (Figura 8.2). Este resultado demonstra ser a contaminação um fator relevante nos resultados de medição do coeficiente de atrito, comparativamente na condição a seco.

8.2. Minimização dos efeitos das fontes de incerteza

Os resultados e estimativas apresentados até aqui apontam para níveis de incerteza muito elevados. Sem que sejam tomados alguns cuidados, as medições efetuadas pelo sistema Tortus pouca ou nenhuma utilidade teriam para a indústria cerâmica.

Com base na experiência adquirida e em resultados de experimentos efetuados, é possível sugerir cuidados que podem reduzir significativamente a incerteza de medição do sistema Tortus para caracterizar o coeficiente de atrito dinâmico.

8.3. Considerações acerca dos deslizadores de borracha

Os resultados mostrados na Figura 7.7 e Figura 7.8 deixam claro a grande influência do tipo de borracha e a importância da preparação de sua superfície de contato, antes do procedimento de medição. Na Figura 7.7 foram observadas duas fontes de influências: a não

planicidade da superfície de contato do sensor de borracha decorrente de um procedimento de lixamento/limpeza incorreto; a dureza e demais propriedades do material do deslizador.

8.3.1. Tipo de borracha

De fato, pelo que observou-se o tipo de borracha influencia tanto na dispersão quanto no valor médio obtido. O sensor de borracha tipo E (aqui considerado como original, de padrão internacional, "4S") apresentou maior diferença na média obtida e grande desvio padrão experimental. Para o sensor K e J as médias foram próximas, bem como cada desvio padrão experimental. Esta diferença pode estar correlacionada com a dureza de cada sensor, visto que durante o desgaste dos sensores tiveram comportamentos diferenciados da fragmentação da borracha, após o lixamento.

Recomenda-se fortemente a utilização de um mesmo tipo de borracha para o uso da determinação do coeficiente de atrito. Caso, deseje-se utilizar uma borracha nacional, a escolha deverá ser efetuada não apenas sobre as especificações fornecidas pelo fabricante, mas com base em resultados comparativos usando o próprio Tortus sobre uma superfície uniforme e de características próximas a do piso a ensaiar, sendo a medição efetuada sempre na mesma posição.

8.3.2. Preparação da superfície

Outra influência considerável sobre o deslizador de borracha é a textura adquirida durante a limpeza da superfície de contato através do lixamento. De acordo com o procedimento de lixamento podem ocorrer estrias paralelas na superfície do deslizador, cujo ângulo em relação à direção do movimento pode alterar o resultado do ensaio. A Figura 7.8 mostra estas diferenças que, em situações críticas, podem levar a variações da média da ordem de 0,12 e desvios padrões de 0,05 a 0,07. Se não efetuado de forma correta o procedimento de preparação do deslizador, ao decorrer de varias limpezas, poderá comprometer a planicidade da superfície de contato do deslizador, ou mesmo seu paralelismo em relação à superfície medida e com isso, influenciar o resultado da medição

Em pisos com superfícies fortemente abrasivas, a influência de preparação do deslizador é sensivelmente menor, uma vez que a movimentação do deslizador sobre a superfície abrasiva, modifica sua textura de superfície de contato e a forma geométrica.

Para tanto, recomenda-se que o deslizador seja sempre lixado antes de cada ensaio e de forma que não promova estrias orientadas e distorções da forma da sua superfície de contato, sendo recomendável que o lixamento se dê com o movimento na forma de “oito” e que seja guiado por um dispositivo capaz de assegurar que a superfície obtida seja plana e perpendicular ao eixo do deslizador.

Finalmente, se estes procedimentos forem sempre efetuados e o material do deslizador tiver as mesmas propriedades, a incerteza atribuída à estas fontes de incerteza pode ser reduzida para uma ordem de 0,050 em superfícies lisas.

8.3.3. Considerações acerca do medidor de força de atrito

A não realização de calibrações e ajustes no sistema de medição da força de atrito pode elevar consideravelmente os níveis de erros sistemáticos e, conseqüentemente a incerteza do sistema de medição. Este efeito se tonará ainda mais evidente após a minimização das demais fontes de incerteza. Uma forte influência da componente sistemática é decorrente da placa de aquisição de sinais, como visto para o Tortus A. Os erros sistemáticos detectados são previsíveis e normalmente podem ser reduzidos por meio de ajustagem feito por um técnico especializado. Uma vez sejam corrigidos os erros sistemáticos, os erros aleatórios encontrados na calibração não precisam ser considerados separadamente no balanço de incertezas, onde estes estarão diluídos na repetitividade do sistema, e cuja influência pode ser reduzida através da média de várias medições repetitivas.

Recomenda-se que sejam efetuadas calibrações e ajustes periodicamente. Uma alternativa que pode ser utilizada, são as curvas de correção dos efeitos sistemáticos, implementada no sistema através do software ou utilizada na forma de tabela de correção (Tabela 7.12; Tabela 7.18 e Tabela 7.19). Deve-se manter um registro de calibrações periódicas para que se possa determinar o intervalo adequado entre calibrações.

Para a situação em que se compensem os erros sistemáticos a incerteza varia de 0,01 a 0,035 de acordo com a escala utilizada para a medição .

8.3.4. Considerações sobre o procedimento de regulação

Apesar desta influência não ser significativa, esta pode ser reduzida se em lugar de observar o valor indicado pelo ponteiro, o operador ao fazer a regulação utilizar o valor digital indicado na tela do computador, possibilitando uma redução estimada da incerteza para 0,002.

8.3.5. Considerações sobre o procedimento de medição

Como visto nos resultados de medições de pisos cerâmicos, os valores encontrados para o coeficiente de atrito apresentam grande dispersão. Isto é real para uma mesma superfície em função da direção em que a medição é efetuada, como também varia de piso para piso de um mesmo lote.

O usuário do sistema pode estar interessado em dois tipos de informação: (a) um valor médio que represente tipicamente o coeficiente de atrito do piso ensaiado ou (b) a faixa de valores dentro do qual o coeficiente de atrito pode variar para um mesmo piso. No caso (a) é possível reduzir a incerteza do valor médio efetuando um grande número de medições e estimar a repetitividade a partir do desvio padrão experimental da média obtida, dividindo-se o desvio padrão experimental pela raiz quadrada do número de medições efetuadas. No caso (b) não é possível trabalhar com o desvio padrão da média, pois a repetitividade deve ser estimada a partir do desvio padrão experimental e nesta estará embutida a informação que indica o intervalo dentro do qual o coeficiente de atrito estará situado.

A expressão para estimar a repetitividade da média do coeficiente de atrito (caso (a)) é $u_{rep} = S_{obs.}/\sqrt{m}$, onde m é o número de observações e $S_{obs.}$ é o desvio padrão das m observações, sendo a respectiva incerteza expandida calculada por $U_{95\%} = 2\sqrt{(u_{rep}^2 + u_{SM}^2)}$, e o resultado da medição é expresso como $RM = MI \pm U_{95\%}$. Para o caso em que se deseje apenas encontrar o valor médio do coeficiente de atrito, a estimativa da repetitividade é $u_{rep} = S_{obs.}$, portanto a $U_{95\%} = 2\sqrt{(S_{obs.}^2 + u_{SM}^2)}$, e o resultado da medição é $RM = MI \pm U_{95\%}$.

8.3.6. Considerações sobre as condições seca/molhada

Os resultados dos ensaios realizados sobre o vidro na condição seca e molhada mostraram a grande influência do contaminante sobre o resultado e sobre a estimativa das incertezas do processo de medição. Claramente a comparação destas duas condições mostram valores de coeficiente de atrito nitidamente diferenciados (ver Figura 7.11).

Então, recomenda-se que durante os ensaios sejam feitas as diferenciações nas condições seca e molhada. Os resultados obtidos para estas condições e as respectivas incertezas devem ser estimado em separado.

8.4. Estimativa da incerteza do Tortus após a otimização

Considerando-se os fatores mencionados acima para cada fonte de incerteza é possível estimar para a condição ideal a estimativa da incerteza do sistema de medição. Para a condição seca as considerações levam a uma incerteza padrão combinada de 0,031 e incerteza expandida de 0,063. A Figura 8.3 mostra a nova distribuição das fontes de incerteza para a condição seca. Porém deve-se deixar claro que são valores estimados com base nos dados existentes e devem ser confirmados através de ensaios complementares. Nota-se neste caso que as maiores influências são devida a calibração e a repetitividade .

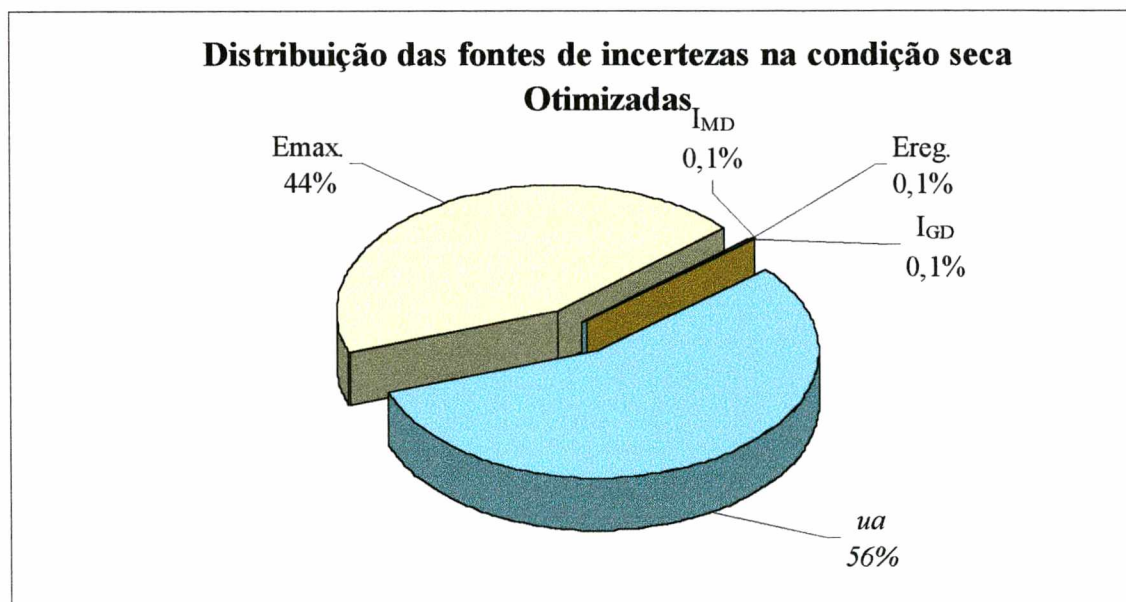


Figura 8.3 - Distribuição das fontes de incerteza após a otimização do sistema Tortus na condição a seco e sobre uma superfície lisa

Para a condição molhada o resultado desta idealidade, indicada na Figura 8.4, mostra que predominantemente a maior influência deve-se a calibração do medidor de forças, sendo a estimativa da incerteza padrão combinada de 0,022 e de incerteza expandida de 0,045. Novamente, aqui vale lembrar, que estes são valores estimados com base nos dados existentes e devem ser confirmados através de ensaios complementares.

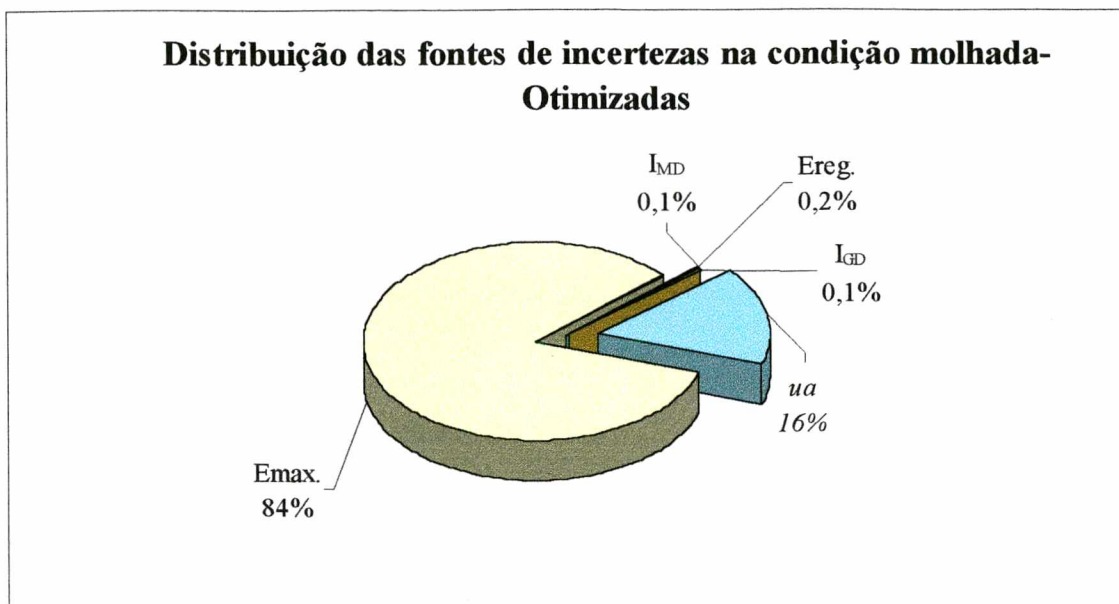


Figura 8.4 - Distribuição das fontes de incerteza após a otimização do sistema Tortus na condição molhada sobre uma superfície lisa

9. Conclusões

Notadamente, após este estudo, verifica-se a importância de caracterizar corretamente a resistência ao escorregamento de piso. Os valores obtidos, quanto à resistência ao escorregamento do ponto de vista de segurança, é a de evitar os danos físicos provocados por quedas, principalmente em ambientes públicos ou industriais. Estes valores são também considerados importantes em ações judiciais, muitas vezes envolvendo indenizações milionárias. Esforços têm sido realizados pela comunidade científica na busca de um método e procedimentos que sejam aceito internacionalmente. E, em função da complexidade do problema e da diversidade das abordagens ainda não se chegou a uma metodologia de consenso.

Constatou-se uma tendência exagerada de pessoas em acreditar cegamente em sistemas de medição, especialmente nos sistemas computadorizados. Deve-se ter em mente que todos os sistemas de medição, dos mais diversos possíveis, apresentam erro de medição. Não é suficiente calcular a média das indicações e acreditar que é este o resultado. Através deste trabalho demonstrou-se que isto é também verdade para o sistema Tortus. Assim sendo, se não forem tomados cuidados, para o sistema Tortus as incertezas podem chegar a ordem de até 40% do valor medido.

Não foi possível fazer uma avaliação clássica do sistema Tortus por não se dispor de uma superfície de referência padrão, com coeficiente de atrito bem definido e conhecido. Porém, através de vários ensaios controlados e detalhada análise dos resultados, foi possível levantar as seguintes informações:

- O medidor de força de atrito apresenta considerável influência sobre a incerteza combinada do sistema Tortus. O elemento mais crítico, nos sistemas analisados, é a placa de aquisição de sinais (A/D), que pode ser facilmente detectado por uma calibração e é passível de correção.

- O deslizador de borracha é o elemento mais crítico. Fatores como tipo de material do deslizador, planicidade e textura da superfície de contato, têm forte influência no resultado da medição do coeficiente de atrito, na condição seca, podendo levar, no caso de superfícies lisas, a incerteza da ordem de 85% da incerteza combinada.

- Em condições molhadas, a estimativa incerteza do sistema de medição sofre uma redução da ordem de 60%, bem como é sensivelmente menor o valor médio encontrado para coeficientes de atrito em pisos cerâmicos nestas condições.

- Para a condição molhada, em função da redução das demais fonte de incerteza, a maior fonte de incertezas é o erro associado ao medidor da força de atrito, podendo chegar a 68%.

Verificou-se através de alguns cuidados que é possível otimizar o desempenho metrológico do sistema Tortus, reduzindo sua incerteza. Recomenda-se:

- Utilizar sempre o mesmo tipo de deslizador padrão (4S), preferencialmente o fornecido pelo fabricante. No caso da busca de um material equivalente nacional, a seleção não deve ser efetuada apenas com base nas características nominais da borracha, mas também com base na resposta do próprio sistema Tortus para o tipo de piso analisado;

- Padronizar procedimentos de limpeza do deslizador através de um dispositivo capaz de manter a perpendicularidade do deslizador com a superfície da lixa e realizar o lixamento em forma de “oito” para evitar a formação de estrias com direção preferencial. Este procedimento deve ser repetido sempre antes que uma série de medições se inicie.

- Periodicamente realizar calibração no sistema (mínimo de 6 meses) de medição da força de atrito e corrigir seus erros sistemáticos, seja por meio de ajustes, seja por meio de tabelas de correção.

Caso estas recomendações sejam seguidas, a estimativa da incerteza padrão do sistema de medição poderá ser reduzida a valores da ordem de 0,03 e 0,02 e incerteza expandida de 0,06 e 0,04, respectivamente para a condições seca e molhada.

Para completar e aprofundar a análise do sistema Tortus sugere-se que trabalhos futuros sejam realizados em áreas como:

⇒Desenvolver e caracterizar um conjunto de superfícies de referência com valores de coeficiente de atrito bem definido e dentro da faixa de interesse da indústria cerâmica.

⇒Avaliar experimentalmente a incerteza padrão do sistema Tortus após as otimizações sugeridas.

⇒Realizar comparações interlaboratoriais para verificação dos sistemas Tortus.

⇒Reavaliar a norma de ensaio no sentido de definir tolerância para condições de uso de pisos antiderrapantes.

10.Referências Bibliográficas

- [1] SACHER, A.,-"Slip Resistance and James Machine 0,5 Static Coefficient of Friction-Sine Qua Non", ASTM Standardization News, v. 22, nº 8, p. 52-59, 1993.
- [2] AMADIO,A .C.; et.al.; "Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento. Ed. Laboratório de Biomecânica-EEFUSP, São Paulo, (1996).
- [3] HOCHMUTH, B.- "Biomechanik sportlicher Bewegungen"- Sportverlag, Berlin (1974).
- [4] MARHOLD, G.; (Hrsg) : Einfuhrung in die Biomechanische Untersuchungs - methode. Deutsche Hochschule fur Korperkultur, Leipzig (1976).
- [5] DONSKOY, D. D.; "Grundlagen der Biomechanik"-Sportverlag, Berlin (1975).
- [6] HAY,J.G. -"Biomecanica das técnicas desportivas" Interamericana- Rio de Janeiro (1981).
- [7] KANDEL,E.R.; SCHWARZ, J.H.; JESSEL, T.M.- "Principles of neural science"- Elsevier, (1991).
- [8] AMDIO, A.C.;- "Fundamentos da Biomecânica do esporte : Considerações sobre a analise cinética e aspectos neuromusculares do movimento. Tese de livre docência. Escola de Educação Fisica da Universidade de São Paulo(1989).
- [9] DAVIS, P.R.- "Human factors contributing to slips, trips and falls"- Ergonomics, v.26, n.1, p.51-59, 1983.
- [10] GRONVIST, R.; et.al.- "An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions"- Ergonomics, v.32, n.8, p.979-995, 1989.
- [11] CAMPANTE, E.F.;-"O conceito de antiderrapante e o desempenho de pisos cerâmicos"- Dissertação, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.

- [12] STRANBERG,L.- "On accidents analysis and slip-resistance measurement" Ergonomics, v. 26,n° 1, p. 11-32,1983.
- [13] DE RICK,J.C.- "Slipperiness of floor surfaces and measurement of the coefficient of friction"- Ceramica ACTA, v.3, n. 4-5, p.11-33, 1991.
- [14] NIGG,B.- "Biomechanical aspects of running"-(in) Nigg, B.(Ed.) Biomechanics of running shoes. Human Kinetics Publishers, Champaign (1986).
- [15] GRONQVIST,R.; et. al. -"Slip resistance versus surface roughness of deck and other underfoot surfaces in ships"- Journal of Occupational Accidents, v.13,n° 4,p.291-302,1990.
- [16] PROCTOR ,T.D.;COLEMAN,V.; "Slipping, tripping and falling accidents in Great Britain-Present and Future", Journal of Occupational Accidents , v. 9, n°4, p. 269-285, 1988.
- [17] CARANI, G.- "*Safety of Ceramic Tile Floors : Slipperiness and Evenness*"- Ceramica Acta 4 ,n 1, p. 5-16, 1992.
- [18] PERKINS,P.J.- "Measurement of slip between the shoe and ground during walking" in C.Anderson and J. Senne (Eds.) , Walkway Surfaces : Measurement of Slip Resistance.- ASTM Special Technical Publication, n.649,p.71-87, 1978.
- [19] PAVELESCU,D.;TUDOR.A.- "The sliding friction coefficient – its evolution and usefulness"- Wear,v.120,n.3,p.321-325,1987.
- [20] MCLEAN,W.G.; NELSON,E.W.- "Mecânica Coleção Schaum." Trad. de Humberto César T. Gonçalves- SÃO Paulo , Ed. McGraw Hill,1972.Cap.8, p.108-109 : Atrito.
- [21] BOHNER, B.et.al.;-"Clenability of Slip Resistance Tiles"- Tile & Brick Int.,v.7,n°4.p.238-242,1991.
- [22] McILVAIN, J. -"That Slippery Coefficient of Friction" Ceramica Acta, v.5,n°4-5,p.23-28,1993.

- [23] KULAKOWSKI, B.T.; et.al. "Evaluation of performance of three slip resistance testers", Journal of Testing and Evaluation, v. 17,nº 4 , p. 234-240,1989.
- [24] REDFERN, M.S.; BIDANDA, B.; "Slip resistance of shoe floor interface under biomechanically- relevant conditions", Ergonomics, v. 37, nº3,p. 511-524, 1994.
- [25] ENGLISH,W.;"A new slip resistance tester", Ceramic Engineering & Science Proceeding: Materials & Equipment / Whitewares, v. 13,nº 1-2, p. 22-28, 1992.
- [26] ANDRES, R. O. ; CHAFFIN, D. B. ;-"Ergonomics analysis of slip-resistance measurement devices "- Ergonomics , v.28, nº7, p.1065-1079,1985.
- [27] BOWMAN, R.; - "The Tortus Floors Friction Tester - Round Robin Tester Ceramics , Adding the value"- AUSTCERAM/ 92, EDMJ Bannister, CSIRO Publ. , 1992,1071.
- [28] BRUNGRABER, R.;TEMPLER, J.- "Controller Slip Resistance", Ceramic Engineering & Science Proceedings: Materials & Equipment/Whitewares, v. 13,nº1-2, p. 66-77, 1992.
- [29] KUHAR, M.S.; "Don't slip up on floor safety", Health Reference Center, http://www.searchbank.com.com/infotrc/session/480/441/204/3/16!xrn_1&bkm , date: 07/05/1998.
- [30] BOWMAM, R. "*Legal and Practical Aspects of Problems Arising From Slippery Floors*" , <http://www.infotile.com.au/techpaper/bdpslp2a> .html,p.1-10, date: 20/02/1998.
- [31] Part 17 : Determination of coefficient of friction- International Organization for Standardization.-DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 10545-17- ISO /TC 189 1995
- [32] ISO GUM –“Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” Edição 1996
- [33] NBR 13818 - Placas cerâmicas para revestimento- Especificação e métodos de ensaios, 1997.

- [34] Draft International Standard ISO/DIS 13006-2-Ceramic Tiles - Definitions , classification, characteristics and marking - ISO/TC 189- 1995

- [35] Resolução numero 004/CAT/CB/95- Disposições sobre: Pisos Anti-Derrapantes(Art. 219 Inciso I).Policia Militar - Corpo de Bombeiros- Centro de Atividades Técnicas, 1995.

- [36] Standard Test Method for - Evaluating the Static Coefficient of Friction of Ceramic Tile and Other Like Surfaces by the Horizontal Dynamometer Pull Meter Method - ASTM C 1028-84, 1984.

- [37] DIN 51130 Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaft- Arbeitsraume und Arbeitsbereiche mit erhohter Rutschgefahr Begehungsverfahren- Schiefe Ebene- Novembro 1992.

- [38] ZH 1/571-Merkblatt fur fußboden in Arbeitsraumen und Arbeitsbereichen mit erhohter Rutschgefahr- April 1989.

- [39] NBR ISO 10012-1- Parte 1 -Requisitos de garantia da qualidade para equipamento- Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição- Novembro 1993.

- [40] WINTER.D. A . ;"Biomechanics and motor control of human", movement Waterloo, Waterloo Press, 1991.

- [41] AMADIO, A.C.; SERRÃO,J.C.- "Estudo de parâmetros relacionados á força de reação do solo durante a locomoção com idosos normais. Congresso Nacional de Biomecânica, 4, São Paulo, Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo,p.224-29(1992).

- [42] BLASER,W.: Dreisprung.Schweizer Turnen 115:21,St.Galleen, pp.661-664(1971)

- [43] LOBO DA COSTA, P.H.; AMADIO,A.C.-"Etudo comparativo de três formas de locomoção em crianças: forças de reação do solo do andar no plano, subir e descer

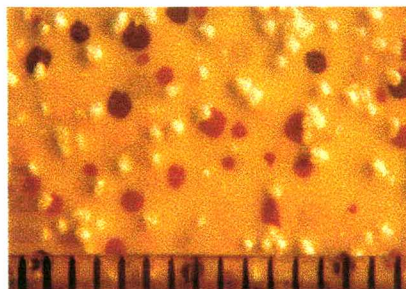
escadas” (in) Anais do VI Congresso Brasileiro de Biomecanica , pp.91-97, Brasília(1995).

- [44] PYYKKO, I.; et.al.- “Effect of age on postural control” -In B. Amblard , A, Berthoz and F. Clarac (Eds), Posture and Gait. Excerpta Medica , Amsterdam (1988).
- [45] SERRÃO,J.C.; et.al.- “Analise do comportamento da força de reação do solo em relação à variação angular do joelho na locomoção com adultos normais”-(in) Anais do V Congresso Brasileiro de Biomecanica, pp.53-59, Santa Maria (1993).
- [46] CLEMENT,D.B.; et.al.- “A survey of overuse injuries”- Phys. Sportmed., 9:47-58(1981).
- [47] NIGG, B.; SEGESSER, B.- “Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction” -Med. Scin. Sports. Exerc., 24(5):595-602 (1992).
- [48] ROBBINS, S.E.; GOUW, G.J.- “Athletic footwear: unsafe due to perceptual illusions”- Med. Scien. Sports Exerc., 23(2): 217-224 (1991).
- [49] ROBBINS,S.E.; HANNA.A.C.- “Running- related injury prevention through barefoot adaptations”-Med. Scien. Exerc., 19(2) : 148-156 (1987).
- [50] MANNING,D.P.; et. al.-"A method of ranking the grip of industrial footwear on water, oily and icy surfaces", Safety Science, Elsevier Science Publishers B.V.,14, p.1-12,1991.
- [51] JUNG, K.; FISCHER,A.- "An ISO test method for determining slip resistance of footwear. Determination of its precision"- Safety Science ,16: p.115-127,1993.
- [52] JUNG,K.; SCHENK,H.-"An International Comparison of test Methods for Determining for the slip resistance of shoes", Journal of Occupational Accidents, Elsevier Science Publ. 13 : p. 271-290,1990.
- [53] JUNG,K.; SCHENK,H. -"Objectification and accuracy of walking method for determining the anti-slip properties of floor surfaces", Ceramica Acta,n.1,p29-40,1991.

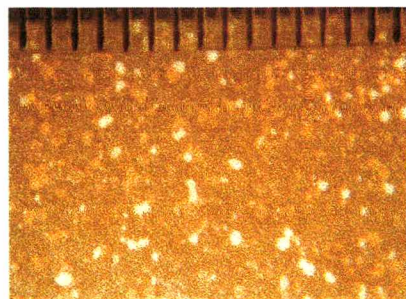
- [54] PERKINS, P.J.; WILSON, M. P.; "Slip resistance testing of shoes - a new developments", *Ergonomics*, v. 26 , n°1, p. 73-82, 1983.
- [55]BOWMAN, R.- "Slip Resistance – Which Way Should the Dice Fall?"- *Ceramic Engineering & Science Proceeding : Materials & Equipment / Whitewares*, v.13,n°1-2,P.46-65,1992.
- [56].WILSON, M.P.; PERKINS, P.J.- 'Evaluation of a slip-resistance test for shoes"- *Ergonomics*, v.28,n7,p.1081-1081,1985.
- [57].-MANNING,D.P.-"Deaths and injuries caused by slipping by tripping and falling"- *Ergonomics*, v.26.n°1,p.3-9,1983.

ANEXO A

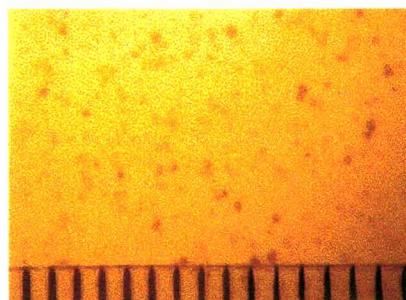
Pisos comerciais selecionados para ensaio.



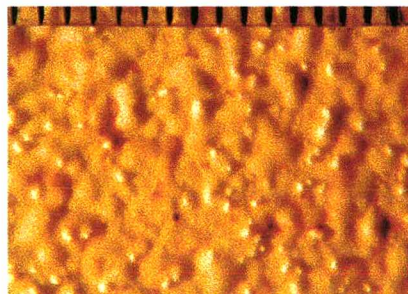
PGU – Piso granilha uniforme



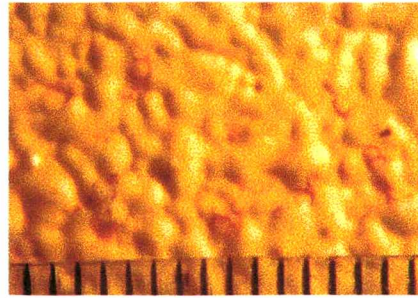
GPN – Grés porcelanato natural



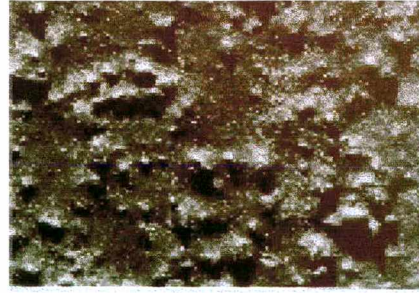
GPP – Grés porcelanato polido



PGFL – Piso com granilha tipo lixa



PGF – Piso granilha fundida



PGFL1 – Piso com granilha fundida tipo 1